

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí staveb

Statický posudok drevenej rozhľadne

Statical analysis of lookout tower

Študent:

Marek Johanides

Vedúci bakalárskej práce:

doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Johanides**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: **Statický posudek dřevěné rozhledny**
Statical analysis of lookout tower
Jazyk vypracování: slovenština

Zásady pro vypracování:

Zpracujte statický posudek dřevěné konstrukce rozhledny s důrazem na řešení přípojů dřevěných konstrukcí:

- 1) Dispoziční řešení navrhovaného objektu.
- 2) Návrh a posouzení vybraných rozhodujících nosných prvků a spojů v mezním stavu únosnosti i použitelnosti.
- 4) Detailní analýza vybraných typů spojů.
- 5) Vybraná ýkresová dokumentace podle pokynů vedoucího práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) ČSN EN 1995-1-2: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- 3) ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- 4) ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- 5) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály.
- 6) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 02.05.2017



doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave.....

.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel poďakovať svojmu konzultantovi Ing. Davidovi Mikoláškovi, Ph.D. za prejavenu ochotu a odborné rady pri konzultáciach výpočetnej časti. Vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Jiřímu Brožovskému, Ph.D. za pomoc a odborné rady pri textovej časti práce. Firmám EXTEN CZ, spol. s r.o. a Azby DK s.r.o. za fotografie výstavby, architektonickému ateliéru DUPLEX s.r.o za poskytnutú výkresovú časť a ÚTAM AV ČR, v. i. za poskytnuté výsledky z meraní síl v aerodynamickom tunely.

Prehlasujem, že

- som bol oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa vzťahuje zákon 121/2000 Zb. – autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského § 60 – školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB – TUO) má právo neziskovo pre svoje vnútorné potreby bakalársku prácu použiť (§ 35 odst.3).
- súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO
- bolo dojednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo dojednané, že použiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu na jej použitie môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na uhradenie nákladov, ktoré boli VŠB – TUO vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č.111/198 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V ostrave.....

.....

podpis študenta

Anotácia

JOHANIDES, Marek. *Statický posudok drevenej rozhľadne*. Ostrava, 2017. Bakalárska práca. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedúci práce doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D.

Bakalárska práca sa zaoberá statickým riešením vyhliadkovej veže nachádzajúcej sa v Českej republike. Jedná sa o drevenú rozhľadnu v obci Rapotín. Pre statickú analýzu bolo vytvorených viacero výpočetných modelov v software Scia Engineer 16.1. Práca obsahuje výpočet zaťaženia na konštrukciu, posudky nosných prvkov a detailnú analýzu vybraného spoja, pre ktorý boli vytvorené dva varianty. Oba tieto varianty boli vymodelované ako škrupinový model. Ďalej bola vypracovaná vybraná výkresová dokumentácia.

Kľúčové slová

Scia Enginner, Eurokód, drevená rozhľadňa, dispozícia, lepené lamelové drevo, zaťaženie konštrukcie, posúdenie konštrukcie, prvky, spoje, škrupinový model

Anotation

JOHANIDES, Marek. *Statical analysis of lookout tower*. Ostrava, 2017. Bachelor thesis. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Supervisor doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the static solution of the observation tower located in the Czech Republic. It is a wooden lookout tower in the village of Rapotín. For static analysis, several computational models have been created in Scia Engineer 16.1 software. The thesis include the calculation of the load on the structure, the assessment of the supporting elements and the detailed analysis of the selected joint, for which two variants were created. Both of these variants were modeled as a shell model. Selected drawing documentation was also included.

Key words

Scia Enginner, Eurocode, wooden lookout tower, disposition, glued laminated wood, construction loads, assessment of construction, elements, joints, shell model

Obsah

Zoznam použitých značiek a symbolov	13
1. Úvod	18
2. Popis objektu	19
2.1 Architektonické a dispozičné riešenie stavby	20
2.1.1 Situovanie stavby	20
2.1.2 Analýza výhľadu	21
2.2 Konštrukčný systém	21
2.3 Založenie	22
2.4 Schodisko	23
2.5 Strecha	23
2.6 Použité materiály	24
2.7 Povrchová úprava	24
2.8 Stavba konštrukcie	24
2.9 Výpočtový model v Scia Engineer 16.1	25
3. Zaťaženie konštrukcie	26
3.1 Zaťaženie stále	26
3.1.1 Vlastná tiaž	26
3.1.2 Ostatné stále zaťaženia	26
3.2 Náhodilé zaťaženie	27
3.2.1 Úžitné zaťaženie	27
3.2.2 Zaťaženie vetrom	28
3.2.3 Zaťaženie snehom	28
3.2.4 Zaťaženie námrazou	30
4. Zaťaženie vetrom	33
4.1 Maximálny dynamický tlak	33
4.1.1 Základná rýchlosť vetra	35

4.1.2	Stredná rýchlosť vetra	35
4.1.3	Drsnosť terénu	36
4.1.4	Orografia	37
4.1.5	Turbolencia vetra.....	38
4.2	Výsledok zaťaženia vetrom	39
4.3	Súčiniteľ konštrukcie.....	39
4.3.1	Referenčná výška	40
4.3.2	Súčiniteľ odozvy pozadia	40
4.3.3	Súčiniteľ maximálnej hodnoty	41
4.3.4	Rezonančná časť odozvy	42
4.3.5	Výpočet súčiniteľa konštrukcie.....	44
4.4	Súčiniteľ plnosti.....	46
4.5	Súčiniteľ sily c_f	46
4.6	Sily od vetra.....	47
4.7	Vietor na streche	48
5.	Modálna analýza	49
5.1	Výpočet vlastného kmitania konštrukcie.....	50
6.	Zaťažovacie stavy.....	51
6.1	Kombinácie zaťažovacích stavov	52
6.1.2	Lineárna kombinácia	52
6.1.3	Nelineárna kombinácia.....	52
7.	Analýza výsledkov	53
8.	Výpočet modulu posunutia K_u a K_{ser}	55
9.	Strata stability.....	58
10.	Všeobecné vzorce ku MSÚ	59
10.1	Prierezové charakteristiky	59
10.2	Materiálové charakteristiky dreva.....	61

10.3	Návrhové napätia dreva	62
10.4	Materiálové charakteristiky ocele	63
10.5	Návrhová únosnosť ocele.....	64
10.6	Súčiniteľ vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$	64
10.7	Podmienky posúdenia drevených prvkov MSU.....	65
10.8	Podmienky posúdenia oceľových prvkov MSU	66
11.	Medzný stav únosnosti	67
11.1	Stĺp	67
11.1.1	Posúdenie kombinácie vzperného tlaku s dvojsoým ohybom.....	68
11.1.2	Posúdenie únosnosti v šmyku	71
11.1.3	Posúdenie únosnosti v ťahu rovnobežne s vláknami.....	72
11.2	Šikmý stĺp	72
11.2.1	Posúdenie kombinácie vzperného tlaku s dvojsoým ohybom.....	74
11.2.2	Posúdenie únosnosti v šmyku	77
11.2.3	Posúdenie únosnosti v ťahu rovnobežne s vláknami.....	77
11.3	Lem poschodia	78
11.3.1	Posúdenie kombinácie vzperného tlaku s dvojsoým ohybom.....	79
11.3.2	Posúdenie únosnosti v šmyku	82
11.4	Plošinový nosník	82
11.4.1	Posúdenie a osového ťahu a dvojsoého ohybu.....	83
11.4.2	Posúdenie únosnosti v šmyku	84
11.5	Podestový nosník	84
11.5.1	Posúdenie dvojsoého ohybu a tlaku	85
11.5.2	Posúdenie únosnosti vo šmyku	86
11.6	Oceľové stužidlo	86
11.6.1	Posúdenie únosnosti v ťahu.....	87
12.	Medzný stav použiteľnosti	87

12.1	Konštrukcia rozhl'adne	88
12.2	Plošinový nosník	88
12.3	Podestový nosník	89
13.	Návrh a posudok vybraného spoja	90
13.1	Únosnosť ocele'ovej dosky	91
13.2	Svorníkový spoj	93
13.2.1	Charakteristická únosnosť pre jeden strih spojovacieho prostriedku	93
13.2.2	Návrhová únosnosť pre jeden strih spojovacieho prostriedku	95
13.2.3	Účinný počet svorníkov	95
13.2.4	Celková únosnosť spoja pri namáhaní rovnobežne s vláknami dreva	95
13.2.5	Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností	96
13.3	Vrutový spoj	97
13.3.1	Priečne zaťažené vruty	97
13.3.2	Osovo zaťažené vruty	97
13.3.3	Vruty zaťažené súčasne priečne aj osovo	98
13.3.4	Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností	99
13.4	Čapový spoj	99
13.5	Variant A	100
13.5.1	Posúdenie čelnej ocele'ovej dosky.	100
13.5.2	Posúdenie pripojovanej ocele'ovej dosky	102
13.5.3	Posúdenie priečnej únosnosti vrutov	103
13.5.4	Posúdenie osovej únosnosti vrutového spoja	104
13.5.5	Posúdenie kombinácie osovo a priečne namáhaného vrutu	105
13.5.6	Posúdenie priečnej únosnosti svorníkového spoja	105
13.5.7	Posúdenie čapu	106
13.6	Variant B	107
13.6.1	Posúdenie čelnej ocele'ovej dosky.	107

13.6.2	Posúdenie priečnej únosnosti vrutov.....	109
13.6.3	Posúdenie osovej únosnosti vrutového spoja	110
13.6.4	Posúdenie kombinácie osovo a priečne namáhaného vrutu	111
13.7	Zhrnutie výsledkov variant	111
13.8	Výpočetný model v software Scia Engineer 16.1	113
13.8.1	Výsledky výpočetných modelov	114
13.9	Porovnanie výsledkov	116
13.10	Analýza hrúbky čelnej ocelej dosky variant A a B	119
13.11	Výber variantu	121
14.	Záver.....	122
15.	Zoznam použitých zdrojov	123
16.	Zoznam použitých obrázkov, tabuliek a grafov	124
17.	Prílohy	129

Zoznam použitých značiek a symbolov

Písmená veľej latinskej abecedy

A	plocha prierezu
A_{ef}	efektívna plocha
A_p	plocha podložky
A_{ref}	referenčná plocha
B^2	súčiniteľ odozvy pozadia
C_e	súčiniteľ expozície
C_t	tepelný súčiniteľ
D	priemer námrazy
$E_{0,05}$	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti
E_d	návrhová hodnota modulu pružnosti
E_{mean}	priemerná hodnota modulu pružnosti
F	sila
$F_{ax,Ed}$	návrhová osová sila na spojovací prostriedok
$F_{ax,Rd}$	návrhová hodnota osovej únosnosti spojovacieho prostriedku na vytiahnutie
$F_{ax,Rk}$	charakteristická hodnota osovej únosnosti spojovacieho prostriedku na vytiahnutie
F_c	sila v tlaku
F_d	návrhová sila
$F_{v,Ed}$	návrhová šmyková sila na jeden strih jedného spojovacieho prostriedku
$F_{v,Rd}$	návrhová šmyková únosnosť pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku
$F_{v,Rk}$	charakteristická šmyková únosnosť pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku
F_w	výsledná sila vetra
$G_{k,j}$	charakteristická hodnota j – tého stáleho zaťaženia
H	výška topografického útvaru
$I_v(z)$	intenzita turbulencie vetra
I_y	moment zotrvačnosti k ose y
I_z	moment zotrvačnosti k ose z
K_{ser}	modul posunutia pre medzný stav použiteľnosti
K_u	okamžitý modul posunutia pre medzný stav únosnosti
L	dĺžka námrazy
$L(z_s)$	merítko dĺžky turbulencie v referenčnej výške z_s

L_e	efektívna dĺžka náveterného svahu
L_u	skutočná dĺžka náveterného svahu
M_{Ed}	návrhový moment
M_{Rd}	návrhová únosnosť v ohybe
$M_{y,Rk}$	charakteristický plastický moment únosnosti spojovacieho prostriedku
N_{Ed}	návrhová osová sila
$N_{t,Rd}$	návrhová únosnosť v ťahu
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavného premenného zaťaženia
$Q_{k,i}$	charakteristická hodnota i – tého premenného zaťaženia
R^2	rezonančná časť odozvy
$S_L(z,n)$	jednostranné spektrum rozptylu
T	doba integrácie pri stanovení strednej rýchlosti vetra
U_{creep}	deformácia od dotvarovania
U_{fin}	konečná deformácia
$U_{fin,G}$	konečná deformácia pre stále zaťaženie G
$U_{fin,Q}$	konečná deformácia pre premenné zaťaženie Q
U_{inst}	okamžitá deformácia
$U_{inst,G}$	okamžitá deformácia pre stále zaťaženie G
$U_{inst,Q}$	okamžitá deformácia pre premenné zaťaženie Q
V_{Ed}	návrhová posúvajúca sila
W_y	prierezový modul k ose y
W_z	prierezový modul k ose z

Písmena malej latinskej abecedy

a	vzdialenosť
a_1	rozteč rovnobežne s vláknami medzi spojovacími prostriedkami v jednej rade
a_2	rozteč kolmo ku vláknam medzi radmi spojovacích prostriedkov
$a_{3,c}$	vzdialenosť medzi spojovacím prostriedkom a nezaťaženým koncom
$a_{3,t}$	vzdialenosť medzi spojovacím prostriedkom a zaťaženým koncom
$a_{4,c}$	vzdialenosť medzi spojovacím prostriedkom a nezaťaženým okrajom
$a_{4,t}$	vzdialenosť medzi spojovacím prostriedkom a zaťaženým okrajom
b	šírka
b_{ef}	efektívna šírka prvku

b_k	šírka konštrukcie
c_d	dynamický súčiniteľ
c_{dir}	súčiniteľ smeru vetra
c_f	súčiniteľ sily
$c_o(z)$	súčiniteľ orografie
$c_r(z)$	je súčiniteľ drsnosti terénu
c_s	súčiniteľ veľkosti konštrukcie
c_{season}	súčiniteľ ročného obdobia
d	priemer
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami
$f_{head,k}$	charakteristický parameter vrutu na vytiahnutie
f_L je	bezrozmerná frekvencia
$f_{m,d}$	návrhová pevnosť v ohybe
$f_{m,k}$	charakteristická pevnosť v ohybe
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami
$f_{teens,Rk}$	charakteristická únosnosť vrutu v ťahu
$f_{v,k}$	charakteristická pevnosť vo šmyku
$f_{v,k}$	návrhová pevnosť vo šmyku
f_y	charakteristická hodnota medze klzu
$f_{y,d}$	návrhová hodnota medze klzu
f_{yp}	medza klzu čapu
h	výška
h_k	výška konštrukcie
i_y	polomer zotrvačnosti k ose y
i_z	polomer zotrvačnosti k ose z
$k_{c,90}$	súčiniteľ zohľadňujúci usporiadanie zaťaženia, možnosť štiepenia a stupeň deformácie v tlaku
$k_{c,y}$ alebo $k_{c,z}$	súčiniteľ vzperu
k_{cr}	súčiniteľ trhlin pre únosnosť vo šmyku
k_{crit}	súčiniteľ používaný pre prečnu a torznú stabilitu
k_{def}	súčiniteľ dotvarovania
k_l	je súčiniteľ turbulencie

k_m	súčiniteľ zohľadňujúci redistribúciu ohybových napätí v priereze
k_{mod}	modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti
k_p	súčiniteľ maximálnej hodnoty
k_r	súčiniteľ terénu
l_{ef}	účinná dĺžka
m	hmotnosť na jednotku dĺžky
m_w	hmotnosť námrazy
n	premenná
n_1	základná vlastná frekvencia konštrukcie
n_{ef}	účinný počet spojovacích prostriedkov
n_r	počet rad spojovacích prostriedkov
n_{st}	počet strihov spoj
q_b	základný dynamický tlak vetra
q_p	maximálny dynamický tlak vetra
s	súčiniteľ; súradnica
s_k	charakteristická hodnota zaťaženia snehom na zemi
t	hrúbka
v_b	základná rýchlosť vetra
v_m	stredná rýchlosť vetra
$v_m(z)$	stredná rýchlosť vetra
w_c	nadvýšenie
w_{creep}	prieťah od dotvarovania
w_{fin}	konečný prieťah
w_{inst}	okamžitý prieťah
$w_{net,fin}$	čistý konečný prieťah
x	vodorovná vzdialenosť staveniska od vrcholu kopca
z	výška nad zemou
z_0	parameter drsnosti terénu
z_s	referenčná výška pre stanovenie súčiniteľa konštrukcie

Písmená veľkej gréckej abecedy

ϕ sklon náveterného svahu

Písmená malej gréckej abecedy

α	uhol medzi silou a smerom vlákien, uhol medzi smerom zaťaženia a zaťaženým okrajom (alebo koncom), uhol
β_c	súčiniteľ priamosti
$\gamma_{G,j}$	dielčí súčiniteľ j – tého stáleho zaťaženia
γ_m	dielčí súčiniteľ vlastnosti materiálu, v ktorom sú uvážené modelové neistoty a premennosť prierezu
γ_{M0}	dielčí súčiniteľ spoľahlivosti materiálu
γ_{M2}	dielčí súčiniteľ spoľahlivosti materiálu oslabeného otvormi
$\gamma_{Q,1}$	dielčí súčiniteľ i – tého stáleho zaťaženia
δ	logaritmický dekrement útlmu
δ_a	logaritmický dekrement aerodynamického útlmu
δ_d	logaritmický dekrement útlmu od zvláštnych zariadení
δ_s	logaritmický dekrement útlmu konštrukcie
$\lambda_{rel,y}$	pomerný štíhlostný pomer zodpovedajúci ohybu okolo osi y
$\lambda_{rel,z}$	pomerný štíhlostný pomer zodpovedajúci ohybu okolo osi z
λ_y	štíhlostný pomer zodpovedajúci ohybu okolo osi y
λ_z	štíhlostný pomer zodpovedajúci ohybu okolo osi z
μ_1	tvarový súčiniteľ
ρ	merná hustota vzduchu, doporučená hodnota 1,25 kg/m ³
ρ_k	charakteristická hustota
ρ_m	priemerná hustota spojovaného dreveného prvku
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami
$\sigma_{c,90,d}$	návrhové napätie v tlaku kolmo na vlákna
$\sigma_{m,y,d}$	návrhové napätie v ohybu ku hlavnej ose y
$\sigma_{m,z,d}$	návrhové napätie v ohybu ku hlavnej ose z
$\sigma_{t,0,d}$	návrhové napätie v ťahu rovnobežne s vláknami
τ_d	návrhové napätie vo šmyku
φ	súčiniteľ plnosti
ψ_0	súčiniteľ pre kombinačnú hodnotu premenného zaťaženia
$\psi_{0,i}$	súčiniteľ pre kombinačnú hodnotu i – tého premenného zaťaženia
ψ_2	súčiniteľ pre kvazistálu hodnotu premenného zaťaženia

1. Úvod

Drevo sa používa pre stavebné účely už niekoľko tisícročí a stále je nezanedbateľným stavebným materiálom pre stavebníctvo. Je ľahko dostupné, ľahko obnoviteľné, má dobré statické vlastnosti, ľahko sa opracováva, je zdravotne nezávadné a ako materiál človeku najpríjemnejšie. Pre vonkajšie stavby, ako je rozhľadňa, je drevo najprirodzenejšie pretože najlepšie zapadá do okolitej krajiny a nenarušuje ju.

Cieľom bakalárskej práce je vytvoriť výpočetný model rozhľadne Bukovka, ktorá sa nachádza v obci Rapotín v Českej republike, v software Scia Engineer 16.1 a posúdiť ju. Použitým materiálom je lepené lamelové drevo. Pre konštrukciu budú prevedené návrhy a posudky hlavných nosných prvkov a detailná analýza vybraného spoja, ktorej cieľom bude stanoviť optimálny počet spojovacích prostriedkov a hrúbku oceľovej dosky. Jednotlivé prvky budú navrhnuté, aby vyhoveli medznému stavu únosti a použiteľnosti podľa príslušných Eurokódov. Súčasťou práce je aj podrobný popis konštrukcie vrátane vybranej výkresovej dokumentácie stavby.

2. Popis objektu

Jedná sa o čiastočne otvorený objekt s pravidelným pôdorysom so strechou v tvare stanu, ktorý tvorí samostatnú zástavbu na osamelom mieste na vrchole kopca vo výške 624 m.n.m. Objekt je tvorený schodiskom a vyhlídkovou plošinou vo výške 17,68m. Celková konštrukčná výška rozhľadne je 21,50 m, najvyšší bod sa nachádza vo výške 23,5 m na konci bleskozvodu. Základňa veže má rozmery 4,80 x 4,80m a v mieste kotvenia šikmých stĺpov 7,80 x 7,80m. Objekt sa skladá z výškových modulov v počte 6 x 2,72, 1 x 1,36 a 1 x 3,82 m vrátane strešnej konštrukcie. Základ je tvorený železobetónovou doskou, ktorý je zaistený mikropilotami proti ťahovým silám. Vzájomné prepojenie jednotlivých prvkov je zaistené pomocou spojov typu oceľ-drevo, oceľ-ocel'. Rozhľadňa je otvorená celoročne, neodporúča sa ju však navštevovať za nepriaznivých klimatických podmienok ako je búrka, silný vietor alebo námraza. Drevená konštrukcia je navrhnutá podľa ČSN EN 1995-1-1, zaradená je do 3. triedy použitia. Zaťaženie snehom bolo uvažované podľa ČSN EN 1991-1-3:2005/Z1:2006, VI.snehová oblasť $s_k=3,0$ kN/m². Zaťaženie vetrom bolo uvažované podľa ČSN EN 1991-1-4:2007, oblasť III. $v_{b,0}=27,5$ m/s, kategória terénu III. Pri výpočte bol zohľadnený súčiniteľ orografie. Zaťaženie stavebnými konštrukciami bolo zohľadnené podľa ČSN EN 1991-1-1:2004



Obrázok 2.1 Rozhľadňa Bukovka

V prílohe PI sa nachádza obrázok s názvoslovím jednotlivých prvkov konštrukcie.

2.1 Architektonické a dispozičné riešenie stavby

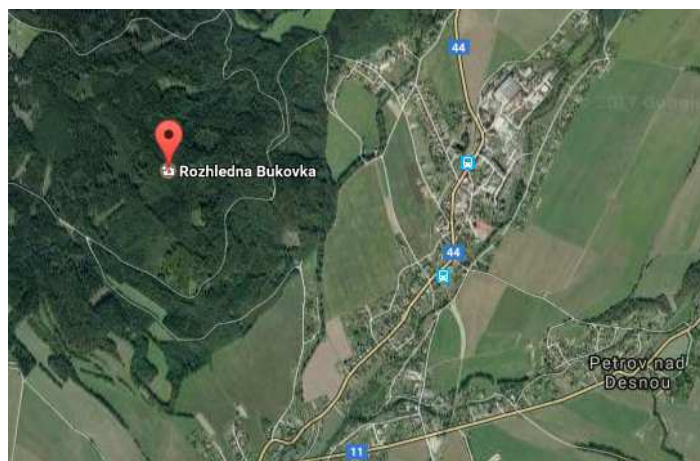
V tejto časti bakalárskej práce je popísané architektonické a dispozičné riešenie rozhľadne, situovanie stavby a analýza výhľadu. Rozhľadňa bola okrem architektonických a dispozičných požiadavok navrhnutá s ohľadom na statický výpočet a konštrukčné požiadavky, predovšetkým problematiky spojov. Ku práci je navyše priložená, vo výkresovej časti prílohy, časť projektovej dokumentácie stavby.

2.1.1 Situovanie stavby

Rozhľadňa je situovaná v odľahlej časti obce Rapotín, v ktorej sa nenachádzajú žiadne stavebné objekty a vedú k nej dve prístupové cesty.

Prvá, dlhšia ale pohodlnejšia, meria 6800 metrov a z obce vedie v smere na Rejchartice. Po 2800 metroch sa z asfaltovej cesty schádza doprava na neoznačenú lesnú šutolinovú cestu. Tá sa po 1500 metroch pri rázcestí Balneo sprava pripája na žltú turistickú značku, ktorá nás po necelom kilometri dovedie prudkým, miestami až strmým stúpaním k rázcestiu Samota. Tu sa zľava napája na modrú turistickú značku, ktorá nás dovedie až na rázcestie Pod Bukovým, kde žltá značka pokračuje kolmou úžinou pre peších až priamo na vrchol Bukového kopca.

Druhá, kratšia, 5200 metrov dlhá cesta, je náročnejšia a vedie po žltej turistickej značke. Tá sa nachádza 150 metrov od obecného úradu, v smere na Jeseník a vedie vľavo po rovine k rázcestiu Pri skalnej krčme. Tu sa však žltá značka musí opustiť a pokračuje sa po vozovej ceste šikmo hore do strmého kopca až k Jandovej križovatke. Odtiaľ sa po starej asfaltovej ceste dôjde po 570 metroch k rázcestiu Balneo a ďalej sa pokračuje po prvej popísanej ceste. Viac o umiestnení stavby a prístupovej ceste vid' obrázok 2.2.



Obrázok 2.2 Situovanie stavby

2.1.2 Analýza výhľadu

Analýza bola spracovaná na základe preštudovania máp. Predpokladá sa výhľad na všetky svetové strany. Po zdolaní stojedenástich schodov sa nám otvorí krásny pohľad na údolie Desné, hlavný hrebeň Jeseníkov, Rychlebkých hôr, masív Králického Sněžníku a pri dobrej viditeľnosti aj výhľad na Šumperk a Libinu, vid' obrázok 2.3.



Obrázok 2.3 Výhľad z rozhľadne Bukovka

2.2 Konštrukčný systém

Nosná konštrukcia sa dá rozdeliť na dve základné, vzájomne spolupôsobiace časti. Z hľadiska materiálu ju delíme:

1) nosná drevená konštrukcia (stĺpová konštrukcia vystužená oceľovými krížmi – tvoria priehradovú konštrukciu.). Tá sa ďalej skladá z:

- a) lepených stĺpov: tvoria hlavnú nosnú konštrukciu, profil je červený smrek 240/240/20000 GL28h a šikmé stĺpy červený smrek 240/420/20000 - GL28h. Staticky funguje táto stavba ako priehradový konštrukčný systém, zo štyroch stužujúcich stien s 1x vnútornou vystuženou stenou a šikminami. Priehradová konštrukcia je po poschodiach zviazaná límcami. Stuženie je tvorené pomocou krížov z ocele triedy S355, ktorý zväzuje stĺpy a poschodia. Toto stuženie a drevenú nosnú konštrukciu je vidieť na obrázku 2.4.
- b) výstužných konštrukcií: majú hlavnú výstužnú funkciu v konštrukcii rozhľadne. Vystuženie je tvorené priestorovým zviazaním priehradových konštrukcií obvodových priehrad. Vystuženie oceľovými stužidlami je na obrázku 2.5.

2) Nosná konštrukcia základu tvorená železobetónovou doskou podporovaná mikropilotami, do ktorej sú kotvené zvislé a vodorovné sily od drevenej časti konštrukcie.



Obrázok 2.4 Drevené stuženie



Obrázok 2.5 Výstužné kríže

2.3 Založenie

Rozhl'adňa je založená na železobetónovej doske (obrázok 2.7) podporovanej mikropilotami. Obvodové stĺpy sú kotvené do tejto dosky pomocou oceľového plechu, vid' obrázok 2.6. Predmetom tejto práce nie je riešiť založenie konštrukcie.



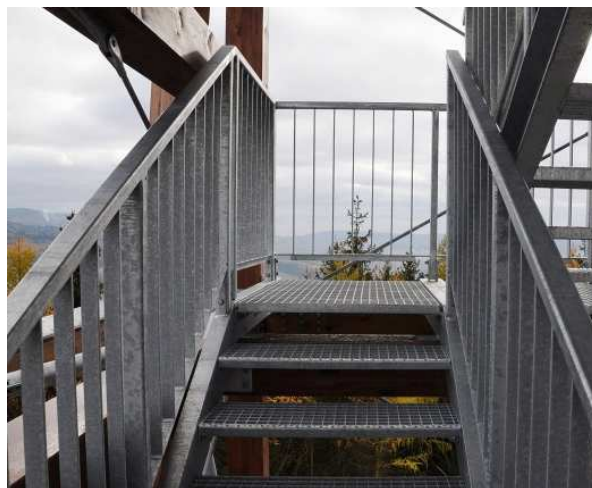
Obrázok 2.6 Kotviaci plech



Obrázok 2.7 Základová doska

2.4 Schodisko

Schodisko rozhl'adne je navrhnuté ako dvojramenné, obrázok 2.8. Šírka jedného ramena je 1000 mm a podesty sú rozšírené o 100 mm. Schodnice sú z ocelového UPN profilu. Stupne sú tvorené oceľovým roštom. Zábradlie je kovové s protikoróznym povrchom, výšky 1200mm. Schodiskové ramená sú uchytané na podestových nosníkoch, ktoré tvoria drevené profily rozmeru 220/280mm.



Obrázok 2.8 Schodisko rozhl'adne

2.5 Strecha

Strecha má tvar stanu so sklonom 28°. Tvorená je krokvami, úžlabovými krokvami, stužidlami a stĺpikom. Navrhnutá bola plechová krytina, kotvená do celoplošného debnenia. Okolo konštrukcie je prevedený okap. Na obrázku 2.9 je zobrazená strešná konštrukcia (pohľad z výhliadkovej plošiny), na ktorej je vidieť aj napojenie stĺpov pomocou oceľových uholníkov.



Obrázok 2.9 Strešná konštrukcia

2.6 Použité materiály

Pre konštrukciu boli použité rôzne materiály. Ako drevené nosné prvky boli navrhnuté lepené pohľadové prvky z dreva smrekovec opadavý vid' obrázok 2.10, triedy GL28h. Lepené prvky sú pohľadovej kvality. Opláštenie je prevedené z dreva smrekovec opadavý, reziva triedy C24 – palubky + pomocná konštrukcia. Oceľové prvky sú zvarené z plechov (valcovaných profilov) – oceľ triedy S355 a exponované časti v exteriéry sa môžu previesť pomocou nerezovej ocele. Typový spojovací materiál je z ocele podľa príslušných noriem.



Obrázok 2.10 Použité drevené profily

2.7 Povrchová úprava

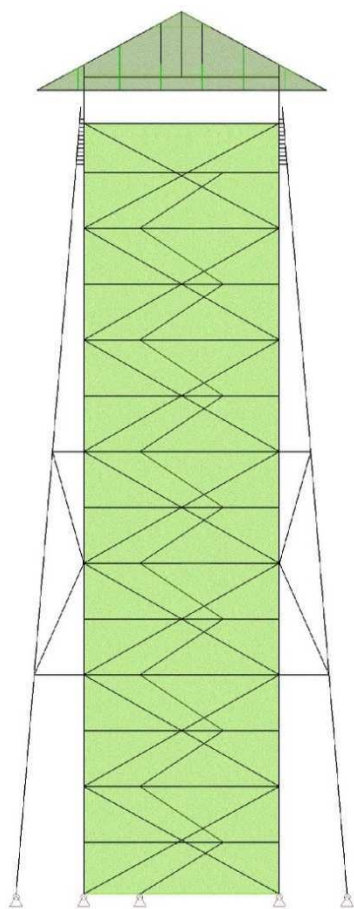
Viditeľné drevené prvky budú tlakovo impregnované a natreté 2x lazúrov, odtieň bol zvolený podľa architekta. Vodorovne uložené drevené prvky, ktoré vyčnievajú z pôdorysu strechy, ako je stužujúci límeč šikmých stĺpov bude z vrchnej strany oplechovaný. Oceľové prvky (okrem nerez) budú žiarovo pozinkované v hrúbke 400g/m² a spojovací materiál galvanicky pozinkovaný.

2.8 Stavba konštrukcie

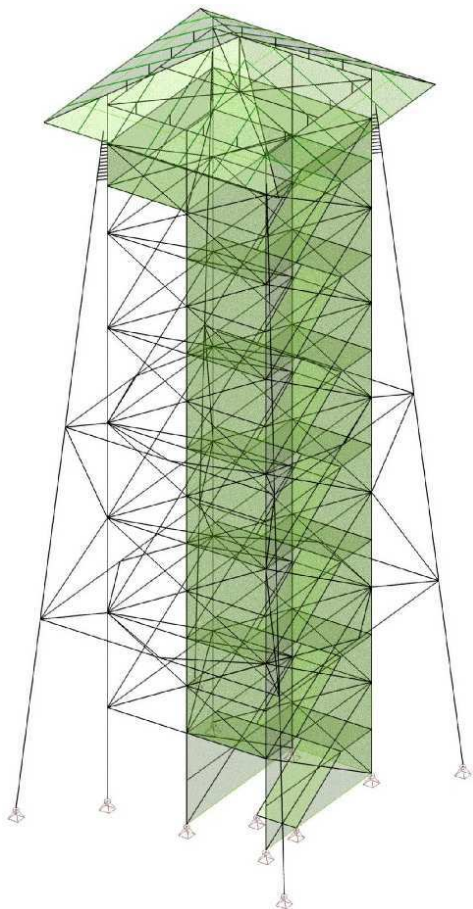
Drevená konštrukcia musí byť postavená podľa ČSN 73 2810:1193/Z1:2000 „Dřevěné stavební konstrukce - provádění“.

2.9 Výpočtový model v Scia Engineer 16.1

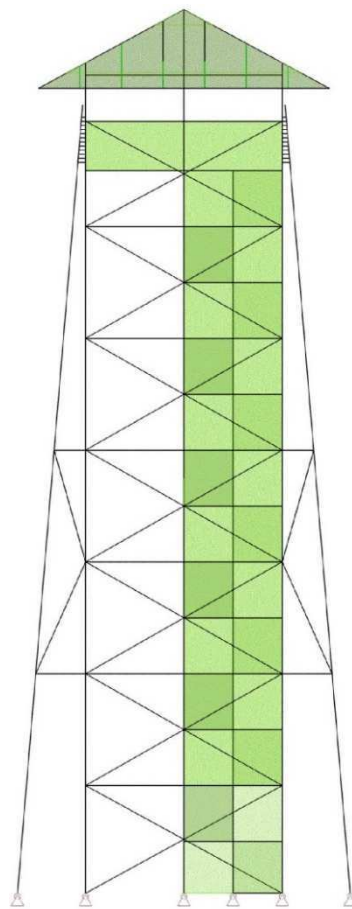
Pre statické posúdenie bol zhotovený zjednodušený prúťový model s uvažovaním konštrukčnej a geometrickej nelinearity v programe Scia Engineer 16.1 vid' obrázok 2.11 až 2.13. Konštrukcia bola modelovaná ako prúťová, spoje ako kĺbové s uvažovaním modulu posunutia K_u pre medzný stav únosnosti a K_{ser} pre medzný stav použiteľnosti. Interakcia modelu s podložíom nebola uvažovaná.



Obrázok 2.11 Pohľad x,z



Obrázok 2.12 Axonometrický pohľad



Obrázok 2.13 Pohľad y,z

3. Zat'azenie konštrukcie

Rozhl'adňa je namáhaná stálym, úžitkovým zat'azením, zat'azením od vetra a snehu. Výpočet bol prevedený podľa príslušných noriem.

3.1 Zat'azenie stále

3.1.1 Vlastná tiaž

Vlastná tiaž jednotlivých prvkov vo výpočtovom modeli je stanovená automaticky programom Scia Engineer 16.1 s hodnotou gravitačného zrýchlenia $9,81\text{m/s}^2$. Merná hmotnosť ocele $\rho=7850\text{ kg/m}^3$ a dreva $\rho_k 410\text{ kg/m}^3$. Vlastnou tiahou zvyšných prvkov konštrukcie sa zaoberá kapitola 3.1.2.

3.1.2 Ostatné stále zat'azenia

V tejto kapitole boli spočítané ostatné stále zat'azenia ako sú podlaha výhliadkovej plošiny, schodiska, podéšť, skladba strechy a oplechovanie vybraných nosných prvkov rozhl'adne.

Podlahu výhliadky, schodiska a podesty tvoria oceľové rošty. Hodnota zat'azenia je udaná v kN/m^2 a v software Scia Engineer 16.1 zadaná na zat'azovací panel. Výsledné hodnoty sú uvedené v tabuľke 3.1.

Tabuľka 3.1 Ostatné stále zat'azenie

schodisko, podešť, vyhládka	Váha	F_n
	$[\text{kg/m}^2]$	$[\text{kN/m}^2]$
rošt 50x5 mm	80,00	0,80
zábradlie	5,00	0,05
podvesné zat'azenie	5,00	0,05
	spolu	0,90

Stála tiaž oplechovania vybraných prvkov bola stanovená na 2 kg/m .

Skladba strechy je tvorená prvkami vymenovanými v nasledujúcej tabuľke, v ktorej je taktiež spočítané ich zaťaženie.

Tabuľka 3.2 Stále zaťaženie strechy

Skladba strechy	Rozteč	Šírka	Výška	Váha	F_n
	[m]	[m]	[m]	[kg/m ²⁽³⁾]	[kN/m]
plechová krytina	1,00	-	-	10,00	0,10
ztužujúca vrstva OSB	1,00	1,00	0,02	640,00	0,15
late	0,30	0,06	0,06	500,00	0,06
kontralate	0,90	0,08	0,04	500,00	0,02
poistná fólia	0,90	0,06	0,04	500,00	0,01
palubky	1,00	1,00	0,03	500,00	0,13
podvesné zaťaženie	1,00	1,00	1,00	5,00	0,05
				spolu	0,52

3.2 Náhodilé zaťaženie

Konštrukcia rozhládne je pomerne štíhla a vysoká, to znamená, že významné zaťaženie je zaťaženie vetrom. Na rozdiel od iných konštrukcií takýchto tvarov je rozhládna určená primárne pre návštevu verejnosti. Musí sa teda uvažovať s úžitným zaťažením návštevníkov. Zároveň je táto konštrukcia vystavená poveternostným vplyvom, môže na nej dôjsť k vzniku námrazy alebo ľadovky. Vplyv zaťaženia od ľadovky alebo námrazy je pre tento typ konštrukcie zanedbateľný vid' kapitola 3.2.4, preto nie je uvažovaný.

3.2.1 Úžitné zaťaženie

Podľa normy [2] bolo stanovené zaťaženie osobami na výhliadkovej plošine, schodisku a na podestách. Zaťaženie osobami bolo rozdelené do nasledujúcich troch úrovní.

- Úroveň 1: Zahrňuje zaťaženie návštevníkmi po celej výške konštrukcie.
- Úroveň 2: Zahrňuje zaťaženie návštevníkmi v strednej časti výšky konštrukcie.
- Úroveň 3: Zahrňuje zaťaženie návštevníkmi na vyhliadkovej plošine.

Zaťaženie osobami bolo rozdelené na 3 časti z dôvodu získania pozitívnejších (väčších) výsledných vnútorných síl. V prípade zaplnenia celej konštrukcie osobami bude mať toto zaťaženie negatívny vplyv na výsledky dôležitých spojov (spoj šikmého stĺpa zo základovou doskou vid' obrázok 2.6), ktorý by stabilizoval konštrukciu pri tomto zaťažení s kombináciou so zaťažením od vetra a tým by vznikali menšie ťahové sily v spoji. Výsledné hodnoty zaťaženia boli zhrnuté do nasledujúcej tabuľky.

Tabuľka 3.3 Úžitné zaťaženie

Stanovené zaťaženie	$q_{k,uv}$ [kN/m ²]/[kN/m]
Vyhliadkové plošiny	5,00
Schodisko – C3	3,00
Podesty – C3	5,00
Vyhliadkové plošiny – vodorovné zaťaženie	1,20

3.2.2 Zaťaženie vetrom

Stanoviť správne zaťaženie vetrom patrí všeobecne k najzložitejšej problematike zaťaženia konštrukcií. Popisom výpočtu zaťaženia vetrom na konštrukciu sa zaoberá kapitola 4.

3.2.3 Zaťaženie snehom

Zaťaženie snehom bolo vypočítané podľa [3]. Rozhľadňa sa nachádza na Prednom Bukovom kopci v obci Rapotín. Táto oblasť odpovedá snehovej oblasti č.VI. Typ okolitej krajiny je normálny. Pre danú strechu bolo potrebné spočítať naviaty aj nenaviaty sneh. Roznášacia šírka medzi krokvmi je 1,00 m. Spočítaným zaťažením boli následne v modeli zaťažené krokvy.

Snehová oblasť VI = $s_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Súčiniteľ expozície – typ krajiny normálny $C_e = 1,0$

Sklon strechy $\alpha = 28^\circ$

Roznášacia šírka 1,00 m

Zaťaženie snehom pre trvalé/dočasné návrhové situácie:

$$s_{k,1} = \mu_1 \cdot s_k \cdot C_e \cdot C_t \quad (3.1)$$

kde μ_1 je tvarový súčiniteľ

s_k charakteristická hodnota zaťaženia snehom na zemi, podľa [3]

C_e súčiniteľ expozície, doporučene 1

C_t tepelný súčiniteľ, doporučene 1

Stanovenie tvarového súčiniteľa μ_1

Tabuľka 3.4 Tvarový súčiniteľ

Uhol sklonu strechy α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0
μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	-

$$\alpha = 28^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$$

Strecha rozhládne má tvar stanu a keďže norma [3] neposkytuje postup riešenia stanovovej strechy, bola strecha riešená ako sedlová. V norme [3] sa na sedlovej streche uvažujú 3 zaťažovacie stavy snehom. Prvý udáva zaťaženie snehom na celej streche (prípád i), druhý (prípád ii) a tretí (prípád iii) uvažuje s plným zaťažením na jednej strane, zatiaľ čo na druhej strane je len polovica snehu, obrázok 3.1.

Výpočet zníženého zaťaženia na jednej polovičke strechy je nasledovný.

$$s_{k,2} = 0,5 \cdot \mu_1 \cdot s_k \cdot C_e \cdot C_t \quad (3.2)$$

$$s_{k,2} = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Následne boli hodnoty prevedené na jednotku dĺžky.

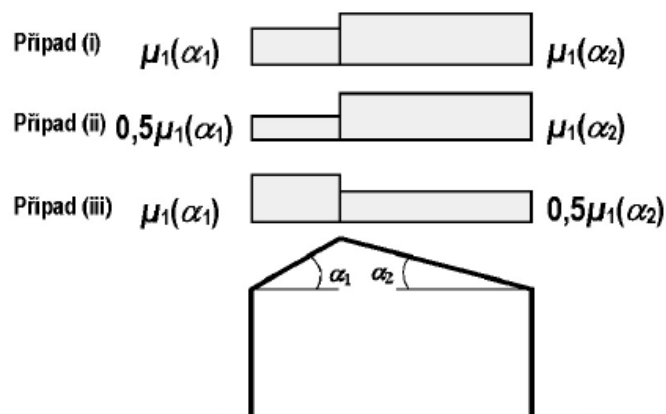
Tabuľka 3.5 Hodnoty zaťaženia snehom

Popis	Šírka [m]	$s_{k,1}$ [kN/m]	$s_{k,2}$ [kN/m]
strecha	1,00	2,40	1,20
ROR	0,13	0,30	-
límeč	0,24	0,58	-

kde strecha je zaťaženie snehom na streche

ROR zaťaženie snehom na stužidle límeča

límeč zaťaženie snehom na límeči konštrukcie



Obrázok 3.1 Zaťažovacie stavy snehom

3.2.4 Zaťaženie námrazou

Zaťaženie námrazou zohľadňuje nárast námrazy okolo jednotlivých prvkov konštrukcie a s tým súvisiace zväčšenie plochy a hmotnosti prvku. Vplyvom námrazy dochádza ku zväčšeniu účinku vetra. Môže teda dochádzať k významnejšiemu zaťaženiu vetrom než u konštrukcie bez námrazy. Pokiaľ je konštrukcia zasiahnutá silnou námrazou, potom obvykle jej vlastná frekvencia významne klesá. Je to dôležité pre dynamickú analýzu, pretože menšie frekvencie sú väčšinou kritické. Okrem toho zmena tvaru prierezu vplyvom námrazy môže vyžadovať dynamickú analýzu. Ako príklad, vytvorenie nesymetrickej námrazy na lane alebo kotvenom lane môže vyvolať aerodynamickú nestabilitu vedúcu k významnému kmitaniu (napr. galloping). Námraza môže vzniknúť zmrznutím zrážok (ľadovka) alebo z oblačnosti (námraza). Fyzikálne vlastnosti a vzhľad vytvorenej námrazy sú výrazne variabilné podľa meteorologických podmienok, ktoré nastali behom rozrastania námrazy. Tvar námrazy závisí na množstve, typu, veľkosti, tvare a orientácii objektu vystaveného námraze. Námraza sa najvýznamnejšie tvorí na prvkoch malého prierezu, ktorý je umiestnený v rovine kolmom na smer vetra. Aby sa mohlo vyjadriť očakávané množstvo v mieste stavby, zavádzajú sa triedy IC. Tie sa rozlišujú na triedu ICR pre námrazu a ICG pre ľadovku. Pre určité miesto stavby je závažnosť námrazy definovaná na základe jej triedy, ktorá všeobecne vyjadruje, aké množstvo námrazy sa má uvažovať pre návrh konštrukcie. Údaje pre jednotlivé triedy námraz sa používajú ako doporučené hodnoty. Uvedené triedy prihliadajú k jej možnej variabilite na väčšine miest, na ktorých sú umiestnené. Podľa mapy tried námraz uvedených v [5] môžeme konštrukciu zaradiť do triedy ICR5.

Model námrazy pre malé prvky

Ako malé prvky sú definované prvky o rozmere W do 300 mm vid' obrázok 3.2. Priemer námrazy D pre základné typy prierezu sa dá spočítať podľa vzťahu.

$$D = \left(\frac{4 \cdot 10^6 m}{\gamma \cdot \pi} + d^2 \right)^{0,5} \quad (3.3)$$

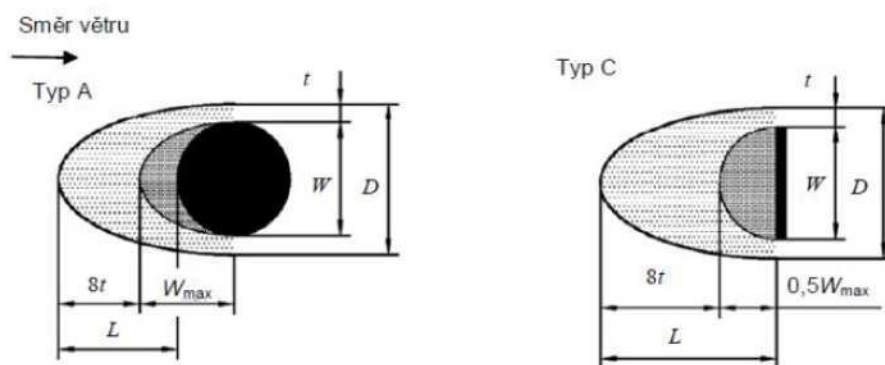
Dĺžka zaoblenia sa stanoví podľa vzťahu

$$L = \frac{4 \cdot 10^6 m}{\gamma \cdot \pi} \text{ pre } L \leq \frac{W}{2} \quad (3.4)$$

$$L = \frac{W}{2} + 8t \text{ pre } L > \frac{W}{2} \quad (3.5)$$

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -10W + \left[68W^2 + 8,149 \cdot 10^7 \frac{m}{\gamma} \right]^{0,5} \right\} \text{ pre typ A} \quad (3.6)$$

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -9W + \left[49W^2 + 8,149 \cdot 10^7 \frac{m}{\gamma} \right]^{0,5} \right\} \text{ pre typ C} \quad (3.7)$$



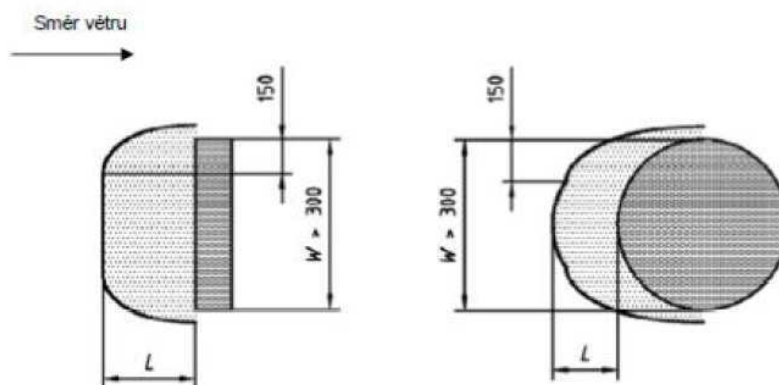
Obrázok 3.2 Model námrazy pre malé prvky

Hodnoty priemeru námrazy D a dĺžky L pre základné typy prierezov sú tiež uvedené v tabuľkách [5]. Rozmer L zväčšuje expoziáciu pôvodných profilov a pri výpočte zaťaženia vetrom sa musí pripočítat' ku rozmeru bez námrazy W .

Ďalej sa musí podľa triedy námrazy, šírky prvku a súčiniteľa sily bez námrazy stanoviť súčiniteľ sily (v norme [5] je uvedený ako súčiniteľ odporu) pre prvok s námrazou. Veľkosti súčiniteľov sú určené v jednotlivých tabuľkách [5] podľa typu námrazy.

Model námrazy veľkých prvkov

Platí pre prvky, kde je rozmer $300 \text{ mm} < W < 5 \text{ m}$, je definovaný model námrazy na obrázku 3.3.



Obrázok 3.3 Model námrazy pre veľké prvky

Pre každú triedu ICR zostáva dĺžka zaoblenia L konštatná, ale vzrastajúcou veľkosťou prvku sa postupne zväčšuje hmotnosť námrazy. Hmotnosť námrazy pre $W > 300 \text{ mm}$ spočítame podľa vzťahu

$$m_w = m + (W - 300) \cdot L \cdot \gamma \cdot 10^{-6} \quad (3.8)$$

Vzhľadom k architektonickému riešeniu konštrukcie vid' obrázok 2.1, nie je potrebné z vplyvom námrazy na konštrukcií uvažovať, pretože jej vplyv je zanedbateľný. S účinkom námrazy sa má uvažovať podľa [5] predovšetkým na konštrukciách :

- a) oceľové laná, kabele ,kotevné lana atď sú citlivé na premenné účinky zaťaženia námrazou, následkom toho sa vplyvom námrazy môže podstatne zväčšiť ťahová sila
- b) štíhle priehradové konštrukcie sú citlivé na zväčšenie osových tlakových síl spôsobených námrazou
- c) antény a ich konštrukcie môžu byť ľahko preťažené námrazou, pokiaľ sa s ňou v návrhu nepočítalo

4. Zat'azenie vetrom

Dynamickým zat'azením tlaku od vetra sa označujú tlaky vetra v premennom čase. Premennivosť sa dá popísať buď deterministicky alebo stochasticky. Príkladom deterministicky popísaného dynamického účinku je oddeľovanie vírov za obtekaným telesom. Stochasticky sa popisujú napr. fluktučné zložky rýchlosti vetra. Stavebné konštrukcie reagujú na dynamické účinky vetra hlavne dynamickou odozvou. Následujúca kapitola sa zaoberá stanovením zat'azenia vetrom podľa [4].

Eurokód počíta s dynamickou odozvou len pri posúdení použiteľnosti z hľadiska výchylky a zrýchlenia a pri výpočte amplitúd v smere vetra. Stanovuje tiež počet cyklov spôsobených oddeľovaním vírov. V prípade straty aerodynamickej stability typu flutter, divergencie alebo gallopingu sú stanovené len kritické rýchlosti, nie však veľkosti výchýliek. V norme zat'azenia vetrom [4] je dynamický problém riešený predovšetkým na statické riešenie pomocou sústavy viac či menej zložito vyčísliteľných koeficientov.

4.1 Maximálny dynamický tlak

Pre stavby, ak ich výška h je väčšia než $2b$ sa doporučuje rozdeliť konštrukciu na vodorovné pruhy, pre ktoré sa stanoví hodnota maximálneho dynamického tlaku. Ich výška môže byť stanovená podľa obrázku 4.1 alebo definovaná podľa konkrétneho projektu. Pri tejto rozhl'adni bolo zvolené delenie pruhov po výške jednotlivých podlaží vid' obrázok 4.2

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (4.1)$$

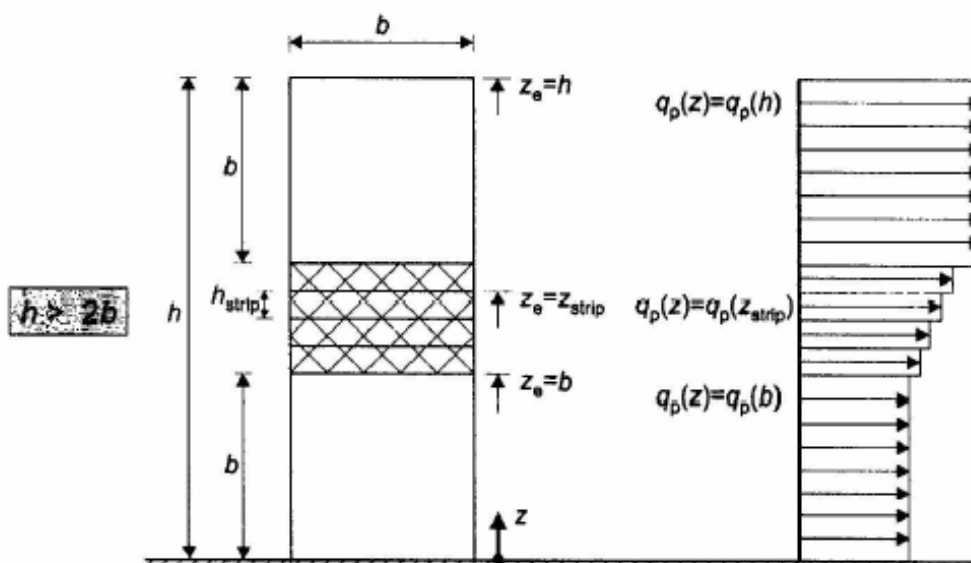
kde $I_v(z)$ je intenzita turbulencie vo výške z , podľa 4.1.5

$v_m(z)$ stredná rýchlosť vetra vo výške z , podľa 4.1.2

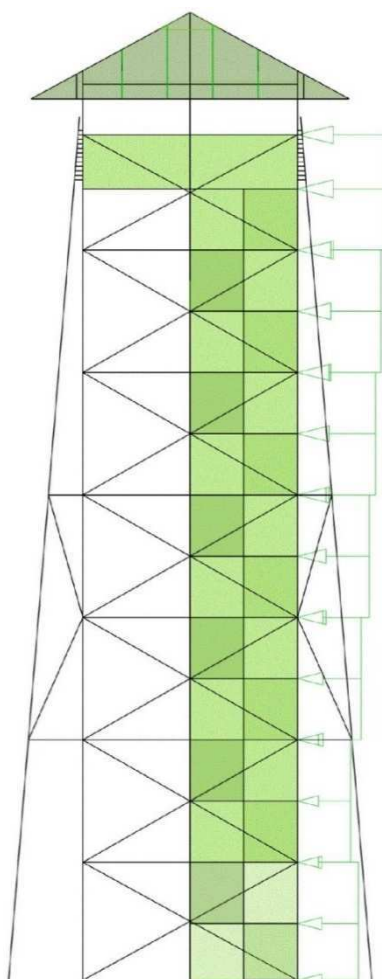
ρ merná hustota vzduchu, doporučená hodnota $1,25 \text{ kg/m}^3$

q_b je základný dynamický tlak vetra

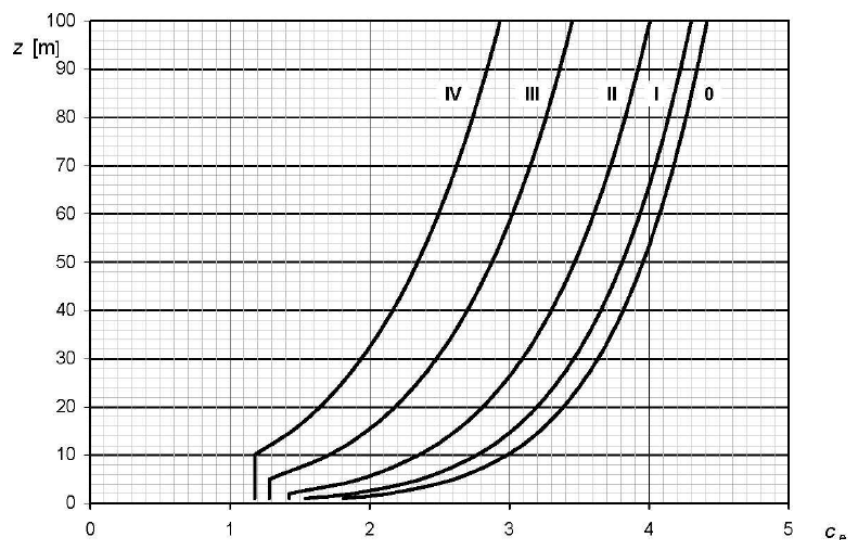
Maximálny dynamický tlak sa dá získať odčítaním hodnoty súčiniteľa expozície z obrázku 4.3 a výpočtu základného dynamického tlaku. Pre presnejšie určenie je nutné určiť intenzitu turbulencie a strednú rýchlosť vetra.



Obrázok 4.1 Rozdelenie konštrukcie na vodorovné pásy podľa [4]



Obrázok 4.2 Skutočné rozdelenie konštrukcie



Obrázok 4.3 Súčiniteľ expozície $c_e(z)$ pre $c_0 = 1,0$ a $k_1 = 1,0$

4.1.1 Základná rýchlosť vetra

Základná rýchlosť vetra $v_{b,0}$ je charakteristická desaťminútová stredná rýchlosť vetra, nezávislá na jeho smere a ročnom období vo výške 10 m nad zemou, v teréne bez prekážok s nízkou vegetáciou ako je tráva a izolované prekážky, vzdialené od seba najmenej 20 násobok výšky prekážky. Riešená konštrukcia sa nachádza vo veternej oblasti 3 [4].

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.2)$$

kde v_b je základná rýchlosť vetra, definovaná ako funkcia smeru vetru a ročného obdobia

$v_{b,0}$ východzia hodnota rýchlosti vetra, $v_{b,0} = 27,50$ m/s (Rapotín)

c_{dir} súčiniteľ smeru vetra, $c_{dir} = 1,0$ doporučená hodnota

c_{season} súčiniteľ ročného obdobia, $c_{season} = 1,0$ doporučená hodnota

4.1.2 Stredná rýchlosť vetra

Stredná rýchlosť vetra $v_m(z)$ vo výške z nad terénom závisí na drsnosti terénu, orografii a základnou rýchlosťou vetra v_b .

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (4.3)$$

kde $c_r(z)$ je súčiniteľ drsnosti terénu, podľa 4.1.3

$c_o(z)$ súčiniteľ orografie, podľa 4.1.4

v_b základná rýchlosť vetra, podľa 4.1.1

4.1.3 Drsnosť terénu

Drsnosť terénu je rozdelená do piatich kategórií, od morských oblastí po oblasti s hustou zástavbou. Rozhl'adňa je zatriedená do oblasti III. Súčiniteľ drsnosti terénu $c_r(z)$ vyjadruje zmenu strednej rýchlosti vetra v mieste konštrukcie spôsobenou výškou nad úrovňou terénu a drsnosti povrchu terénu na náveternej strane konštrukcie pre uvažovaný smer vetra. Doporučený postup pre jeho stanovenie je založený na logaritmickom profile rýchlosti.



Obrázok 4.4 Ilustračný terén

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ pre } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.4)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ pre } z \leq z_{\min} \quad (4.5)$$

kde k_r je súčiniteľ terénu, ktorý závisí na uvažovanom parametre drsnosti terénu z_0 výpočíta sa podľa vzťahu (4.6)

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (4.6)$$

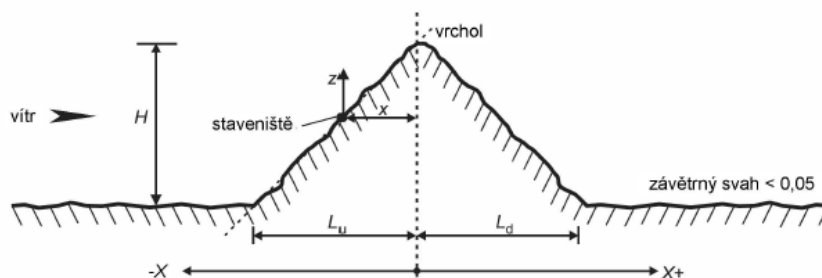
kde $z_{0,II}$ je parameter drsnosti terénu, $z_{0,II}=0,05$ (katogéria terénu II)



Obrázok 4.5 Skutočný okolitý terén

4.1.4 Orografia

Na izolovaných kopcoch, hrebeňoch, útesoch a strmých svahoch sa vyskytujú iné rýchlosti vetra, závislé na sklone ϕ a účinnej dĺžke svahu L_e a ďalších vplyvoch. Tento sklon a vplyvy prostredia sú pre každý prípad projektu variabilné preto ich bolo potrebné stanoviť podľa vzťahov (4.7) až (4.12).



Obrázok 4.6 Ilustračný profil topografie

Celková dĺžka trasy
778 m



Obrázok 4.7 Skutočný profil topografie

$$\phi = \frac{H}{L_u} \quad (4.7)$$

$$L_e = \frac{H}{0,3} \quad (4.8)$$

kde H je výška topografického útvaru

L_u skutočná dĺžka náveterného svahu

L_e efektívna dĺžka náveterného svahu

$H=240$ m

$L_u=778$ m

$\phi=0,31 \rightarrow$ strmý svah

$L_e=800$ m

$x=0$ m

Pre náveternú stranu platí:

$$\text{Pre rozsahy } -1,5 \leq \frac{x}{L_u} \leq 0 \text{ a } 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0 \text{ je } s = A \cdot e^{\left(B \cdot \frac{x}{L_u}\right)} \quad (4.9)$$

$$\text{kde } A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 1,0124 \quad (4.10)$$

$$B = 0,3542 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,0577 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 2,6456 \quad (4.11)$$

$$\text{keď } \frac{x}{L_u} < -1,5 \text{ alebo } \frac{z}{L_e} > 2, \text{ použije sa hodnota } s=0 \quad (4.12)$$

Vzhľadom k tomu, že rozhládňa je rozdelená na vodorovné pruhy vid' obrázok 4.2, boli výsledky zosumarizované do následovnej tabuľky.

Tabuľka 4.1 Výsledky vplyvu orografie

Pre náveternú stranu kopca				
z	A	B	s	c_0
2,62	1,01	2,64	1,01	1,60
5,34	1,00	2,64	1,00	1,60
8,06	0,99	2,64	0,99	1,60
10,78	0,99	2,63	0,99	1,59
13,5	0,98	2,63	0,98	1,59
16,22	0,97	2,62	0,97	1,58
20,00	0,967	2,62	0,97	1,58
21,50	0,96	2,62	0,96	1,58

4.1.5 Turbolencia vetra

Intenzita turbulencie je definovaná ako podiel smerodajnej odchýlky turbulencie a strednej rýchlosti vetra.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ pre } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4.13)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \text{ pre } z \leq z_{min} \quad (4.14)$$

kde k_I je súčiniteľ turbulencie, $k_I=1,0$ (doporučená hodnota)

$c_0(z)$ súčiniteľ orografie definovaný v 4.1.4

z_0 parameter drsnosti terénu, uvedený v 4.1.3

4.2 Výsledok zaťaženia vetrom

Maximálny dynamický tlak bol stanovený po jednotlivých vodorovných pruhoch, ktoré sú zobrazené na obrázku 4.2. Konštrukcia bola zaradená do kategórie terénu III a veternej oblasti III s východnou základnou rýchlosťou vetra $v_{b,0}$ 27,5 m/s. Pri výpočte bol zohľadnený vplyv orografie, ktorý významne ovplyvnil výsledný tlak vetra.

Tabuľka 4.2 Výsledky maximálneho dynamického tlaku

č.p.	v_b [m/s]	z [m]	$c_r(z)$ [-]	$v_m(z)$ [m/s]	$I_v(z)$ [-]	$c_e(z)$ [-]	$q_p(z)$ [kg/m·s ²]
1	27,50	2,62	0,60	26,72	0,28	2,84	1,35
2	27,50	5,34	0,62	27,28	0,21	2,48	1,17
3	27,50	8,06	0,70	31,10	0,19	2,98	1,41
4	27,50	10,78	0,77	33,77	0,17	3,36	1,59
5	27,50	13,50	0,82	35,81	0,16	3,65	1,73
6	27,50	16,22	0,85	37,44	0,15	3,91	1,85
7	27,50	20,20	0,90	39,37	0,15	4,20	1,99
8	27,50	21,50	0,92	39,90	0,14	4,29	2,03

4.3 Súčiniteľ konštrukcie

Súčiniteľ konštrukcie $c_s c_d$ má vziať do úvahy účinko zaťaženia vetrom pri nesúčasnom výskyte maximálnych tlakov vetra na povrchu konštrukcie (c_s) spoločne s účinkom kmitania konštrukcie vyvoláneho turbulenciou (c_d). V národnej prílohe NA.2.20 [4] sa doporučuje tento súčiniteľ nerozdeľovať. Na rozdiel od výpočtu účinku síl od vetra sa súčiniteľ konštrukcie nepočíta na jednotlivé segmenty, ale pre celú konštrukciu.

Pre konštrukcie do určitých rozmerových obmedzení sa dá súčiniteľ konštrukcie $c_s c_d$ stanoviť hodnotou 1,0. Jedná sa hlavne o pozemné stavby nižšie než 15 m a o pozemné stavby s rámovou konštrukciou nižšou než 100 m a výškou nepresahujúcou 4. násobok šírky, určité typy komínov, prvky fasád a strechy. Pre inžinierske stavby sa má súčiniteľ konštrukcie stanoviť podľa vzťahu (4.15).

Súčiniteľ konštrukcie:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (4.15)$$

kde z_s je referenčná výška pre stanovenie súčiniteľa konštrukcie

k_p súčiniteľ maximálnej hodnoty, definovaný ako pomer maximálnej hodnoty fluktuáčnej zložky odozvy a jej smerodajnej odchýlky podľa (4.23)

I_v intenzita turbolencie, definovaná v 4.1.5

B^2 súčiniteľ odozvy pozadia, ktorý berie do úvahy nedostatok úplnej korelácie tlakov na povrchu konštrukcie, podľa (4.17)

R^2 rezonančná časť odozvy, ktorá berie do úvahy turbulenciu v rezonancií s tvarom kmitania, podľa (4.25)

Táto konštrukcia nevyhovuje žiadným obmedzeniam, pre ktoré sa dá stanoviť súčiniteľ konštrukcie $c_s c_d = 1$, preto bola hodnota súčiniteľa stanovená pomocou postupu 1 uvedeného v národnej prílohe B normy [4].

4.3.1 Referenčná výška

Výška konštrukcie je 21,5 m, referenčná výška vertikálnej konštrukcie sa určí podľa vzťahu:

$$z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{\min} \quad (4.16)$$

kde z_{\min} je minimálna výška konštrukcie, pre danú kategóriu terénu 5,0 m.

4.3.2 Súčiniteľ odozvy pozadia

Súčiniteľ odozvy pozadia B^2 berie do úvahy vplyv neúplnej korelácie tlakov na povrchu konštrukcie, dá sa vypočítať pomocou nasledujúceho výrazu:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b + h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (4.17)$$

kde b, h je šírka a výška konštrukcie

$L(z_s)$ merítko dĺžky turbolencie v referenčnej výške z_s , podľa (4.18) a (4.19)

Merítko dĺžky turbolencie $L(z_s)$ udáva priemernú veľkosť nárazu vetra v prírode. Pre výšky z nižšie než 200 m sa dá vypočítať merítko dĺžky turbolencie podľa výrazu (4.18) a (4.19).

$$L(z_s) = L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t}\right)^\alpha \text{ pre } z \geq z_{min} \quad (4.18)$$

$$L(z_s) = L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t}\right)^\alpha \text{ pre } z < z_{min} \quad (4.19)$$

s referenčnou výškou $z_t=200$ m, referenčným merítkom dĺžky $L_t = 300$ m,

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \cdot l_n(z_0) \quad (4.20)$$

kde z_0 je parameter drsnosti terénu v m

Závislosť energie vetra na frekvenciu je vyjadrená bezrozmernou výkonovou spektrálnou hustotou $S_L(z,n)$, ktorá sa má stanoviť nasledovne:

$$S_L(z,n) = \frac{n \cdot S_v(z,n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z,n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z,n))^{5/3}} \quad (4.21)$$

kde $S_L(z,n)$ je jednostranné spektrum rozptylu

$$f_L(z,n) = n \cdot L(z)/v_m(z) \quad (4.22)$$

kde f_L je bezrozmerná frekvencia, stanovená pre základnú vlastnú frekvenciu konštrukcie $n=n_{1,x}$ v Hz

$L(z_s)$ merítko dĺžky turbolencie definované (4.18)

$v_m(z)$ stredná rýchlosť vetra, podľa 4.1.2

4.3.3 Súčiniteľ maximálnej hodnoty

Súčiniteľ maximálnej hodnoty k_p , definovaný ako pomer maximálnej hodnoty fluktuáčnej zložky odozvy ku jej smerodajnej odchýlke, sa má stanoviť podľa:

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \text{ alebo } k_p=3, \text{ použije sa väčšia z hodnôt} \quad (4.23)$$

kde v je frekvencia prechodov s kladnou smernicou podľa (4.24)

T doba integrácie pri stanovení strednej rýchlosti vetra, $T=600$ s.

Frekvencia prechodov s kladnou smernicou v sa stanoví podľa výrazu:

$$v = n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad (4.24)$$

kde n_1 je základná vlastná frekvencia konštrukcie, ktorá môže byť stanovená podľa prílohy F normy [4]. Medzná hodnota $v \geq 0,08$ Hz zodpovedá súčiniteľu maximálnej hodnoty 3,0, alebo podľa modálnej analýzy

Základná ohybová frekvencia kmitania n_1 bola zistená pomocou modálnej analýzy viď kapitola 5.

4.3.4 Rezonančná časť odozvy

Rezonančná časť odozvy R^2 , ktorá berie do úvahy turbulenciu v rezonancií s uvažovaným tvarom kmitania konštrukcie, sa má stanoviť takto:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_s(n_h) \cdot R_b(n_b) \quad (4.25)$$

kde δ je celkový logaritmický dekrement útlmu definovaný v prílohe F normy [5]

S_L výkonová spektrálna hustota v bezrozmernom stave, uvedená (4.21)

R_h, R_b aerodynamické admitancie podľa (4.26) a (4.27)

Aerodynamické admitancie R_h a R_b sa dajú aproximovať pomocou výrazu:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}); R_h = 1 \text{ pre } \eta_h = 0 \quad (4.26)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}); R_b = 1 \text{ pre } \eta_b = 0 \quad (4.27)$$

$$\text{kde } \eta_h = \frac{4 \cdot 6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, \eta_{1,x}) \text{ a } \eta_b = \frac{4 \cdot 6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, \eta_{1,x}) \quad (4.28)$$

Logaritmický dekrement útlmu δ základného ohybového tvaru kmitania môžeme určiť podľa vzťahu:

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (4.29)$$

kde δ_s je logaritmický dekrement útlmu konštrukcie, $\delta_s = 0,06$

δ_a logaritmický dekrement aerodynamického útlmu pri základnom tvare kmitania
(4.30)

δ_d logaritmický dekrement útlmu od zvláštnych zariadení, $\delta_d = 0$

Logaritmický dekrement konštrukčného útlmu

Približné hodnoty logaritmického dekrementu konštrukčného útlmu v základnom tvare kmitania δ_s sú definované pre rôzne typy konštrukcií v prílohe F normy [5]. Drevené rozhládne tu však nie sú uvedené. Všeobecne platí, že čím má konštrukcia tuhšie spoje, tým má menší útlm. Vzhľadom k tomu že rozhládna bude spojená svorníkovými tesnými spojmami sa najviac približuje hodnota δ_s pre drevené mosty, ktorá je v rozmedzí ($\delta_s = 0,06 - 0,12$). Pre výpočet bola uvažovaná táto hodnota konzervatívne $\delta_s = 0,06$.

Pre odhad logaritmického dekrementu útlmu v smere vetru použijeme výraz (4.28).

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} \quad (4.30)$$

kde c_f je súčiniteľ sily, definovaný v 4.5

m_e ekvivalentná hmotnosť na jednotku dĺžky

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) \cdot \phi_1^2(s) \cdot ds}{\int_0^l \phi_1^2(s) \cdot ds} \quad (4.31)$$

kde m je hmotnosť na jednotku dĺžky

l výška alebo rozpätie konštrukcie

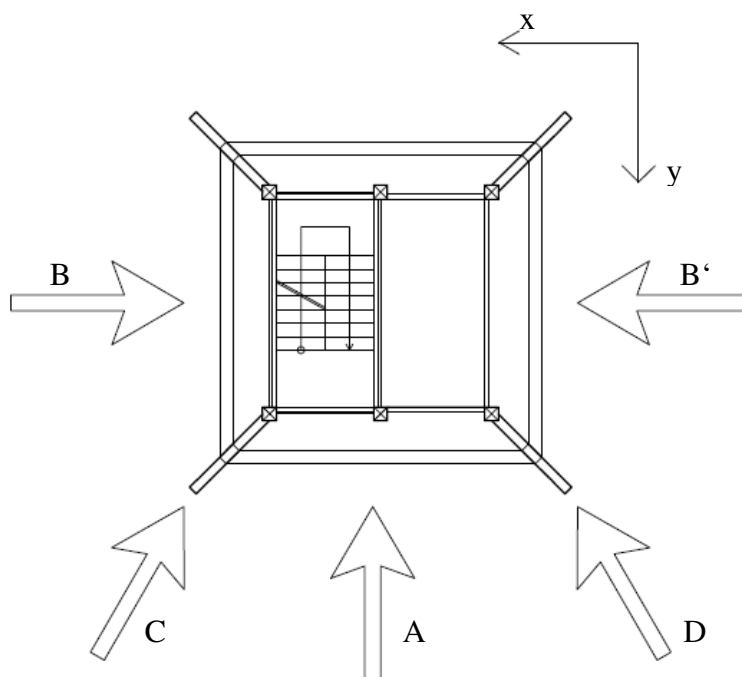
Z vyššie uvedených vzťahov vyplýva, že súčiniteľ konštrukcie závisí na niekoľkých premenných. Jedná sa o geometrické rozmery konštrukcie, stredná rýchlosť vetra, útlmové charakteristiky, vlastné frekvencie, hmotnosť konštrukcie a súčiniteľ sily.

4.3.5 Výpočet súčiniteľa konštrukcie

Súčiniteľ konštrukcie bol určený pre 5 smerov vetra vid' obrázok 4.8.

Súčiniteľ sily c_f bol prevzatý z meraní v aerodynamickom tuneli vid' príloha PII. Hmotnosť rozhladne na jednotku dĺžky bola zistená pomocou software Scia Engineer 16.1. Do výpočtu bol použitý najnepriaznivejší logaritmický dekrement konštrukčného útlmu δ_s .

Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 4.3.



Obrázok 4.8 Smer vetra

Tabuľka 4.3 Výsledky výpočtu súčiniteľa $c_s c_d$

Veličina	Jednotka	Smer vetra				
		A	B	B'	C	D
h	[m]	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50
b	[m]	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
L_t	[m]	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
z_0	[m]	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
z_s	[m]	12,90	12,90	12,90	12,90	12,90
z_t	[m]	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
α	[-]	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
$L_{(zs)}$	[m]	44,06	44,00	44,06	44,06	44,06
$v_{m(z)}$	[m/s]	39,91	39,91	39,91	39,91	39,91
n_1	[Hz]	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77
$f_{L(z,n)}$	[-]	2,62	2,62	2,62	2,62	2,62
$S_{l(z,n)}$	[-]	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
n_h	[-]	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22
n_b	[-]	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
R_h	[-]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
R_b	[-]	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
δ	[-]	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10
δ_a	[-]	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
δ_s	[-]	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
δ_d	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
c_f	[-]	1,70	1,50	1,50	1,40	1,40
m_e	[kg/m]	1677,00	1677,00	1677,00	1677,00	1677,00
R^2	[-]	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23
B^2	[-]	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
ν	[Hz]	1,27	1,30	1,30	1,31	1,31
T	[s]	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
k_p	[-]	3,81	3,81	3,81	3,82	3,82
I_v	[-]	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
$c_s c_d$	[-]	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00

Na základe vypočítaných hodnôt súčiniteľ konštrukcie $c_s c_d = 1,0$ pre všetky smery vetra.

4.4 Súčiniteľ plnosti

Jednotlivé plochy konštrukcie boli prevzaté z meraní v aerodynamickom tuneli podľa prílohy PII.

Súčiniteľ plnosti konštrukcie je definovaný vzťahom:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (4.32)$$

kde A je súčet priemetu plovch prvkov v konštrukcií

A_c celková plocha obálky konštrukcie

Výsledky

Súčiniteľ plnosti pre stranu A

$$\varphi_A = 0,672$$

Súčiniteľ plnosti pre stranu B

$$\varphi_B = 0,918$$

4.5 Súčiniteľ sily c_f

Súčiniteľ sily c_f sa určuje na základe tvaru prierezu obtekaného prvku. Riešená konštrukcia je z časti zakrytá a z časti odokrytá, preto nie je jednoduché stanoviť súčiniteľ sily podľa normy [5]. Súčiniteľ sily c_f bol prevzatý z meraní v aerodynamickom tuneli, vid' príloha PII. Pri meraní bolo zistené, že konštrukcia sa správa ako plnostenná a výsledky súčiniteľov boli zhrnuté do nasledujúcej tabuľky.

Tabuľka 4.4 Hodnoty súčiniteľa c_f

Súčiniteľ sily	Smer vetra				
	A	B	B'	C	D
c_f	1,70	1,50	1,50	1,40	1,40

4.6 Sily od vetra

Sily od vetra na celú konštrukciu alebo nosný prvok sa majú stanoviť výpočtom síl pomocou súčiniteľov síl alebo výpočtom síl z povrchových tlakov. Sily od vetra na priehradovej konštrukcií sa spočítajú podľa vzťahu.

$$F_w(z) = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.33)$$

kde $c_s c_d$ je súčiniteľ konštrukcie podľa (4.15)

c_f súčiniteľ sily pre konštrukciu alebo nosné prvky podľa 4.5

$q_p(z_e)$ maximálny dynamický tlak v referenčnej výške z_e podľa (4.1)

A_{ref} referenčná plocha konštrukcie alebo nosného prvku

Z vyššie uvedeného vzťahu vyplývajú veličiny, z ktorých je možné stanoviť zodpovedajúce sily na jednotlivé prvky. Súčiniteľ konštrukcie berie do úvahy dynamické chovanie konštrukcie.

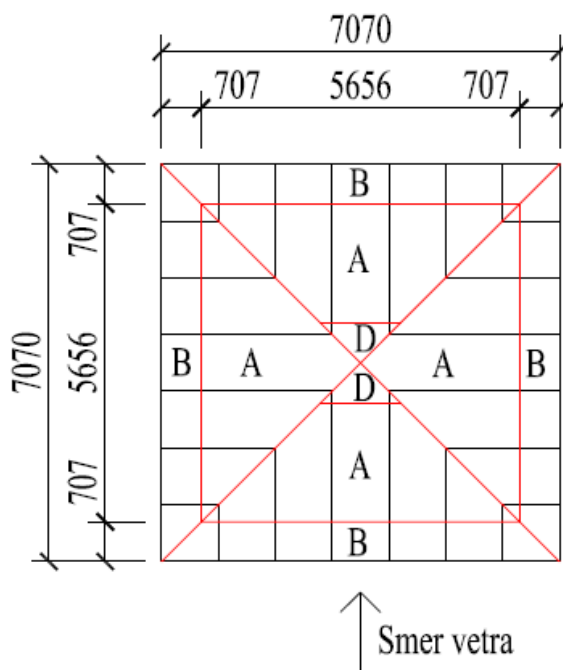
Výsledky boli zhrnuté do nasledujúcej tabuľky.

Tabuľka 4.5 Výpočet výslednice sily

Smer A				Smer B = B'				Smer C = D			
$c_s c_d$		1		$c_s c_d$	1	1		$c_s c_d$		1	
c_f		1,7		c_f		1,5		c_f		1,4	
z [m]	A _{ref} [m ²]	q _p [kg/m·s ²]	F _w [kN]	z [m]	A _{ref} [m ²]	q _p [kg/m·s ²]	F _w [kN]	z [m]	A _{ref} [m ²]	q _p [kg/m·s ²]	F _w [kN]
2,62	9,24	1,35	21,13	2,62	15,10	1,35	30,47	2,62	17,01	1,35	32,04
5,34	10,28	1,17	20,49	5,34	15,89	1,17	27,94	5,34	18,10	1,17	29,71
8,06	11,30	1,41	27,11	8,06	17,20	1,41	36,40	8,06	18,30	1,41	36,15
10,78	11,42	1,59	30,84	10,78	16,90	1,59	40,26	10,78	18,62	1,59	41,40
13,50	13,54	1,73	39,81	13,50	15,89	1,73	41,23	13,50	16,89	1,73	40,90
16,22	11,28	1,85	35,42	16,22	15,89	1,85	44,02	16,22	16,95	1,85	43,83
20,20	15,43	1,99	52,17	20,20	15,20	1,99	45,35	20,20	16,52	1,99	46,00
21,50	7,00	2,03	24,15	21,50	7,00	2,03	21,31	21,50	14,20	2,03	40,35
Σ	(89)	Σ	(251)	Σ	(119)	Σ	(287)	Σ	(136)	Σ	(310)

4.7 Vietor na streche

Strecha rozhládne nemá trvalé steny, preto je podľa normy [4] považovaná za prístrešok. Pre výpočet je potrebné stanoviť stupeň uzatvorenia prierezu pod prístreškom, tzv. súčiniteľ plnosti φ . Ten je určený pomerom plochy možných prekážok pod prístreškom a prierezu pod prístreškom. Príkladom je kolmosť plôch ku smeru vetra. Vzhľadom k tomu, že norma [4] ponúka riešenie len pre jeden typ sedlovej strechy a pultovej strechy, bolo potrebné typ sedlovej strechy modifikovať a vytvoriť z nej stanovú strechu. Plocha strechy je podľa rozdelená na oblasti s rôznymi súčinitel'mi vonkajšieho a vnútorného tlaku. Sklon strechy je 28° , ale stanovenie zaťaženia sa prevedie na pôdoryse strechy (priemete). Rozmery strechy sú znázornené na obrázku 4.11. Súčiniteľ plnosti bol definovaný v 4.4. Pre smer vetra C a D boli použité hodnoty zaťaženia na streche zo smerov A a B. Podľa súčiniteľa plnosti bol z interpolovaný súčiniteľ pre zápornu hodnotu (sanie) z tab. 7.7 v norme [4].



Obrázok 4.9 Rozdelenie oblasti strechy

Tabuľka 4.6 Hodnoty súčiniteľov pre oblasti

Smer	c_f	Oblasť				q_p	$c_s c_d$
		A	B	C	D		
-	0,74	1,22	1,90	1,60	0,54	2,03	1,00
A	-1,20	-1,40	-1,94	-1,46	-2,00	2,03	1,00
B	-1,28	-1,40	-1,85	-1,42	-2,00	2,03	1,00

Následne boli spočítané jednotlivé hodnoty zaťaženia vetrom na streche pre dané oblasti. Tieto hodnoty sú uvedené v kN/m², pretože do softwaru boli zadávané na „zaťažovací panel“, ktorý previedol na vybraných prvkoch plošnú hodnotu zaťaženia na dĺžkovú (kN/m). Spočítané hodnoty sú uvedené v tabuľke 4.7.

Tabuľka 4.7 Výpočet zaťaženia vetrom na streche

Kladné (tlak)			Sanie smer A			Sanie smer B		
Smer	Hodnota	Jednotka	Smer	Hodnota	Jednotka	Smer	Hodnota	Jednotka
A	2,48	[kN/m ²]	A	-2,84	[kN/m ²]	A	-2,84	[kN/m ²]
B	3,86	[kN/m ²]	B	-3,94	[kN/m ²]	B	-3,75	[kN/m ²]
C	3,25	[kN/m ²]	C	-2,96	[kN/m ²]	C	-2,88	[kN/m ²]
D	1,10	[kN/m ²]	D	-4,06	[kN/m ²]	D	-4,06	[kN/m ²]

Zaťaženie vetrom na streche vo výpočte bolo uvažované ako tlak zo smeru odkiaľ vietor pôsobil a na zvyšných stranách bolo uvažované sanie.

5. Modálna analýza

Všeobecne sa dynamickým výpočtom rozumie výpočet vlastného kmitania a výpočet vynúteného kmitania analyzovanej konštrukcie. Každá konštrukcia je charakterizovaná svojím naladením. Toto naladenie sa dá vyjadriť spektrom vlastných frekvencií a vlastných tvarov kmitania, takže výpočet vlastného kmitania zahŕňa výpočet vlastných frekvencií a vlastných tvarov. Na ten existuje veľa metodík. Pre túto konštrukciu bol vybraný software Scia Engineer 16.1. Pri modálnej analýze sa neuvažuje s tlmením ani zaťažením. Výpočet týchto hodnôt vychádza z pohybovej rovnice netlmenej sústavy.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (5.1)$$

kde $[M]$ je symetrická matica hmotnosti sústavy

$[K]$ symetrická matica tuhosti sústavy

$\{\ddot{u}\}$ vektor uzlových zrýchlení

$\{u\}$ vektor uzlových posunutí

5.1 Výpočet vlastného kmitania konštrukcie

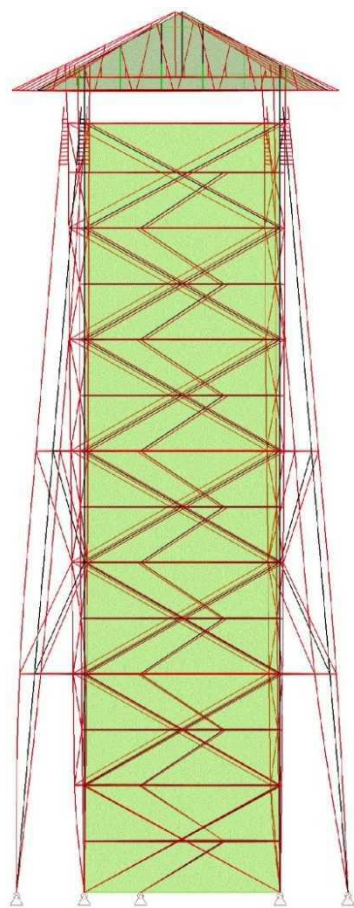
Pre určenie vlastných frekvencií a vlastných tvarov kmitov bola použitá bloková Lanczosová iteračná metoda. Bolo spočítaných 5 najnižších frekvencií a vlastných tvarov kmitov.

Celkom boli modálne charakteristiky stanovené pre :

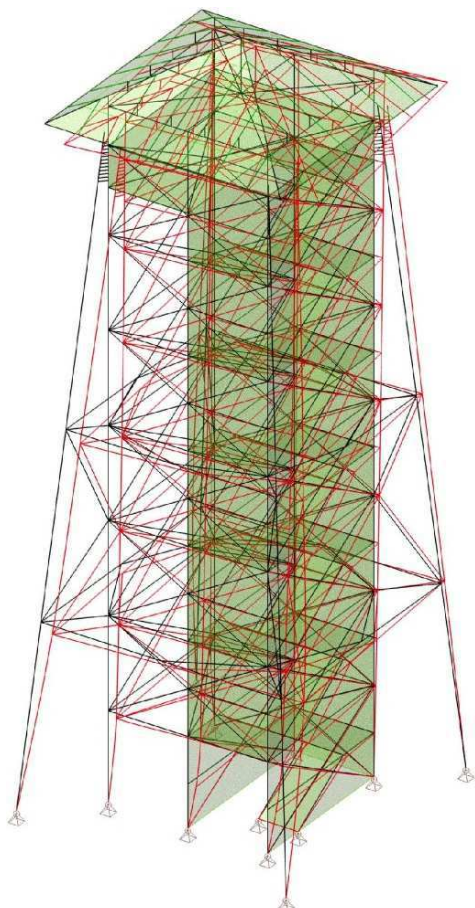
M1: vlastná hmotnosť + skladby

Na základe modalnej analýzy boli určené základné vlastné frekvencie modelu. Na obrázkoch 5.1 až 5.3 je zobrazený prvý vlastný tvar kmitu modelu M1.

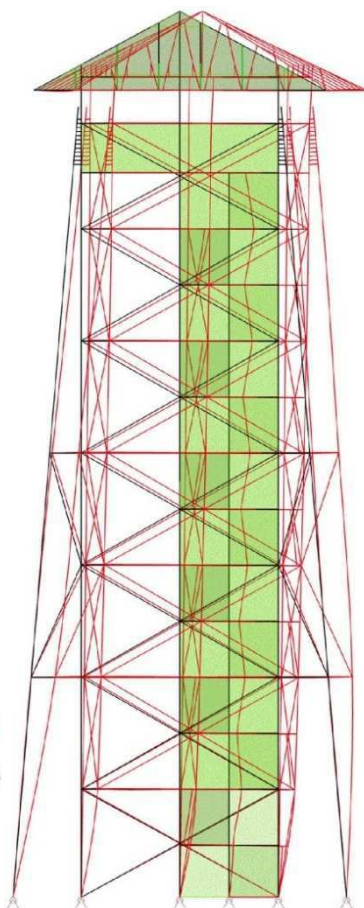
Prvý vlastný kmitu modelu M1 je 2,51 Hz.



Obrázok 5.1 Pohľad x,z



Obrázok 5.2 Axonometrický pohľad



Obrázok 5.3 Pohľad y,z

Odozva konštrukcie na pohyb osôb

K dynamickému zaťaženiu celej konštrukcie by mohlo dôjsť vplyvom pohybu návštevníkov v priestoroch schodiska a vyhlídkovej plošiny. Rozkmitanie konštrukcie návštevníkmi by mohlo nastať len v prípade dokonalého synchronizovaného pohybu všetkých osôb, čo môžeme prakticky vylúčiť. K takémuto rozkmitaniu by mohlo dôjsť len v prípade zámerného rytmického horizontálneho pohybu osôb. Takýmto rozkmitaním sa táto práca nezaobrá.

6. Zaťažovacie stavy

Pre posúdenie medzného stavu únosnosti a medzného stavu použiteľnosti boli použité nasledujúce zaťažovacie stavy:

Tabuľka 6.1 Zaťažovacie stavy

Meno	Značka	Popis	Typ pôsobenia	Doba pôsobenia	Skupina zaťaženia
ZS1	G ₀	Vlastná tiaž	Stále	-	SZ1
ZS2	G ₁	Ostatné stále	Stále	-	SZ1
ZS3	S _F	Sneh na celej streche	Premenné	Strednedobé	Sneh
ZS4	S _L	Sneh na ľavej polovici	Premenné	Strednedobé	Sneh
ZS5	S _P	Sneh na pravej polovici	Premenné	Strednedobé	Sneh
ZS6	Q ₁	Osoby v celej rozhl'adni	Premenné	Krátkodobé	Osoby
ZS7	Q ₂	Osoby v 2/3 výšky	Premenné	Krátkodobé	Osoby
ZS8	Q ₃	Osoby v 3/3 výšky	Premenné	Krátkodobé	Osoby
ZS9	W _A	Vietor smer A (kolmý)	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS10	W _B	Vietor smer B (kolmý)	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS11	W _{B'}	Vietor smer B' (kolmý)	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS12	W _C	Vietor smer C (diagonálny)	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS13	W _D	Vietor smer D (diagonálny)	Premenné	Krátkodobé	Vietor

Tabuľka 6.2 Vzťah zaťažovacích stavov

Meno	Typ zaťaženia	Vzťah
SZ1	Stále	-
Osoby	Kat. C: zhromaždenie	Výberové
Sneh	Sneh	Výberové
Vietor	Vietor	Výberové

6.1 Kombinácie zaťažovacích stavov

Návrhová hodnota účinku zaťaženia sa musí pre každý rozhodujúci zaťažovací stav stanoviť prostredníctvom kombinácie zaťaženia, ktoré sa môže vyskytnúť súčasne. Kombinácie zaťažovacích stavov sú zostavené podľa Eurokódu [1].

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.1)$$

kde $\gamma_{G,j}$ je dielčí súčiniteľ j – tého stáleho zaťaženia

$G_{k,j}$ charakteristická hodnota j – tého stáleho zaťaženia

$\gamma_{Q,1}$ dielčí súčiniteľ i – tého stáleho zaťaženia

$Q_{k,1}$ charakteristická hodnota hlavného premenného zaťaženia

$Q_{k,i}$ charakteristická hodnota i – tého premenného zaťaženia

$\psi_{0,i}$ súčiniteľ pre kombinačnú hodnotu i – tého premenného zaťaženia

6.1.2 Lineárna kombinácia

Bola vytvorená 1 kombinčná skupina (CO1) typu EN MSÚ (STR/GEO) Sada B, ktorá po rozložení na lineárne kombinácie obsahovala 559 kombinácií.

6.1.3 Nelineárna kombinácia

Nelineárne kombinácie boli prevzaté z lineárnych kombinácií v počte 559. Z dôvodu veľkého počtu kombinácií zaťažovacích stavov je zmienená vždy len rozhodujúca kombinácia pri daných posudkoch.

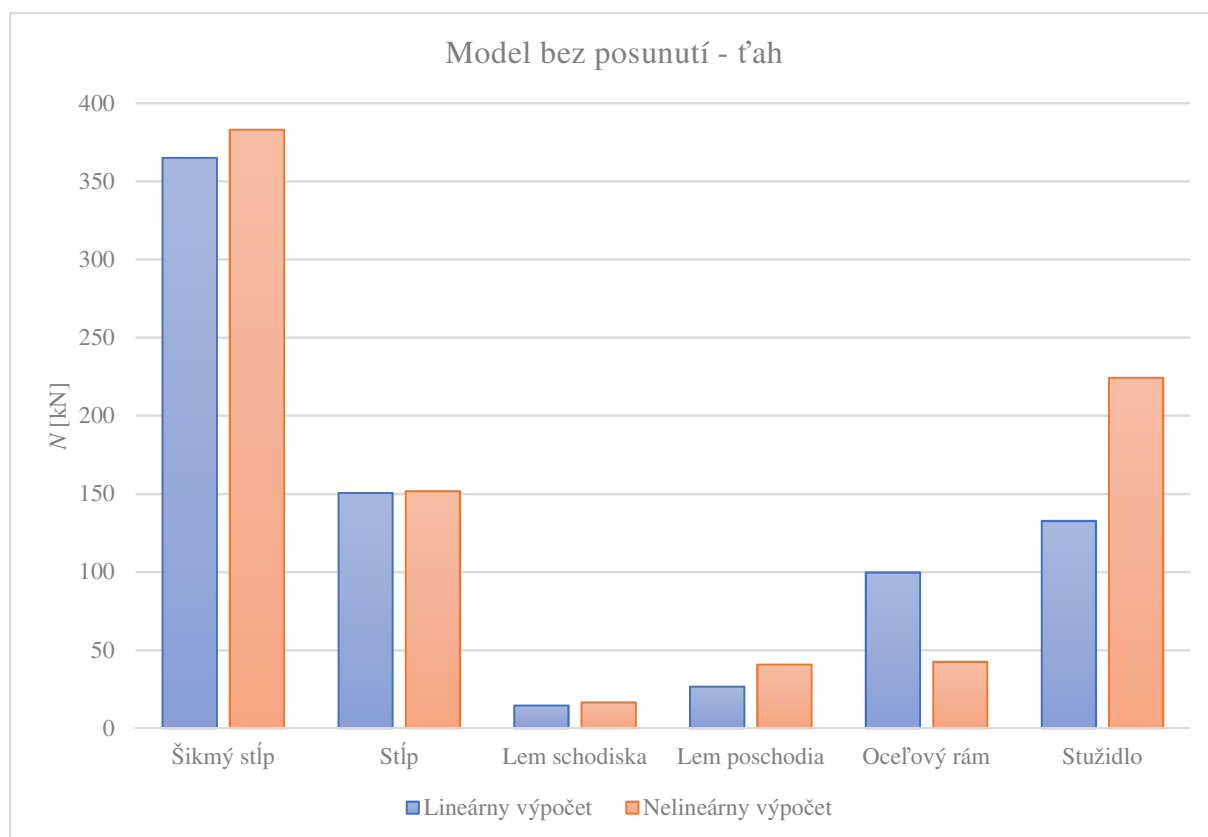
7. Analýza výsledkov

Táto kapitola bakalárskej práce sa zaoberala porovnávaním výsledkov z dvoch modelov. Prvý model bol vymodelovaný bez zadaných tuhostí spojov (bez posunutí) a druhý so zadanými tuhosťami (s posunutiami). Oba tieto modely boli spočítane lineárnym aj nelineárnym výpočtom, kde nelineárny výpočet bol s uvažovaním konštrukčnej a geometrickej nelinearity výpočtovou metódou Newton-Raphson. Výsledky nelineárneho výpočtu modelu s tuhosťami je uvedený v tabuľke 7.1. Zvyšné tabuľky výsledkov sú v prílohe PIII. Na grafe 7.1 je zobrazené porovnanie výsledkov ťahovej normálovej sily modelu bez tuhostí lineárneho a nelineárneho výpočtu. Na grafe 7.2 je zobrazené porovnanie ťahovej normálovej sily modelu s tuhosťami lineárneho a nelineárneho výpočtu. Zvyšné porovnávacie grafy sú uvedené v prílohe PIV.

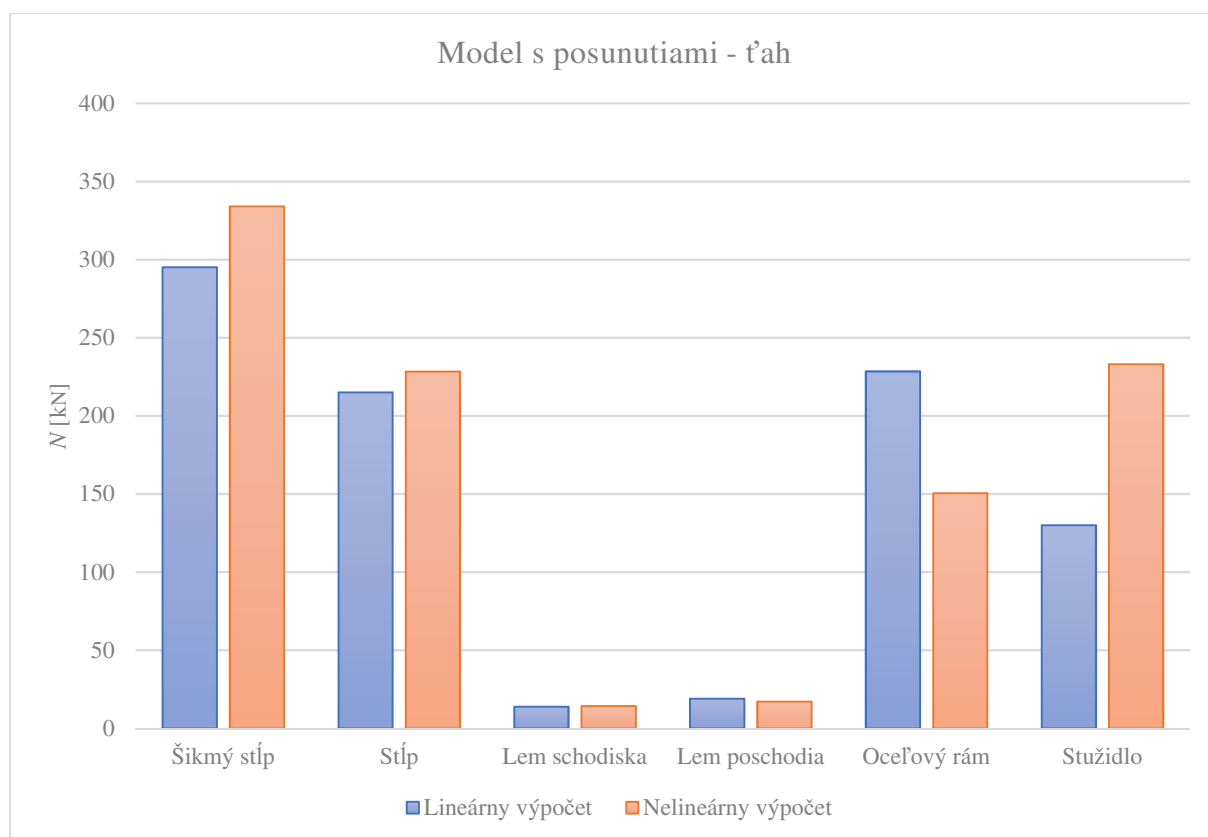
Podľa vypočítaných hodnôt, ktoré sú uvedené v tabuľke 7.1, je možné skonštatovať, že rozdiel medzi lineárnym a nelineárnym výpočtom oboch modelov je výrazný a to až 79% pri stužidle podľa grafu 7.2.

Tabuľka 7.1 Nelineárny výpočet s posunutiami

Nelineárny výpočet s posunutiami												
Šikmý stĺp												
	<i>N</i>	Komb.	<i>V_y</i>	Komb.	<i>V_z</i>	Komb.	<i>M_x</i>	Komb.	<i>M_y</i>	Komb.	<i>M_z</i>	Komb.
+	351,43	NC465	9,39	NC450	36,81	NC454	1,18	NC459	18,73	NC456	11,10	NC460
-	481,20	NC457	9,31	NC457	40,32	NC461	1,31	NC461	19,44	NC440	9,90	NC451
Stĺp												
+	235,46	NC416	21,93	NC465	20,74	NC446	1,05	NC461	15,06	NC400	11,44	NC423
-	238,46	NC449	24,19	NC442	19,45	NC453	1,05	NC422	15,61	NC446	22,44	NC442
Lem schodiska												
+	14,51	NC278	9,25	NC477	13,54	NC214	0,22	NC446	18,12	NC214	7,56	NC446
-	30,82	NC423	9,25	NC435	12,86	NC228	0,19	NC431	13,49	NC506	7,42	NC444
Lem poschodia												
+	20,82	NC429	8,94	NC462	39,05	NC395	2,08	NC394	36,38	NC196	8,75	NC444
-	188,06	NC444	9,08	NC402	40,65	NC398	2,08	NC524	23,58	NC398	9,76	NC423
Oceľový rám												
+	125,11	NC463	13,25	NC506	104,67	NC444	0,81	NC400	195,24	NC444	44,03	NC400
-	329,50	NC449	17,29	NC422	105,18	NC446	0,41	NC457	194,40	NC439	21,37	NC489
Stužidlo												
+	227,61	NC394										



Graf 7.1 Model bez posunutí - ťah



Graf 7.2 Model s posunutiami - ťah

8. Výpočet modulu posunutia K_u a K_{ser}

Pre výpočet vlastných frekvencií konštrukcie a prerozdelenie vnútorných síl je dôležité správne vystihnúť tuhosť prípojev. Hlavnou charakteristikou tuhosti spoja drevených konštrukcií je modul posunutia K_{ser} . Táto hodnota vyjadruje posun spojovacieho prostriedku od danej šmykovej sily v strihovej ploche a osovej sily. Pre analýzu globálneho modelu boli tieto moduly posunutia K_{ser} spočítané pomocou [7].

Pre jeden strih priečne namáhaného vrutu, svorníka platí vzťah.

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d}{23} \quad (8.1)$$

kde ρ_m je priemerná hustota spojovaného dreveného prvku uvedená v 10.2
 d priemer spojovacieho prostriedku

Norma [7] povoľuje pre spoj oceľ - drevo zdvojnásobiť hodnotu K_{ser} .

Pre osovo namáhané vruty platí vzťah.

$$K_{ser} = 780 \cdot d^{0,2} \cdot l_{ef}^{0,4} \quad (8.2)$$

kde l_e je účinná dĺžka vniku vrutu podľa (13.24)
 d priemer vrutu

Z dôvodu geometrie spoja bol výsledný modul posunutia spočítaný teóriou sériového zapojenia pružín, ktorý odvodzuje vzťah:

$$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2} \quad (8.3)$$

kde k je tuhosť prvej pružiny
 k_2 tuhosť druhej pružiny

Návrhová hodnota modulu posunutia sa vypočíta.

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \quad (8.4)$$

Na základe vypočítaných vnútorných síl bez modulov posunutia vid' tabuľka PIV 2 bol navrhnutý približný počet spojovacích prostriedkov a z nich dopočítaný modul posunutia. Po následnom doplnení tuhosti do modelu boli znovu spočítané hodnoty vnútorných síl vid' tab.7.1.

Bakalárska práca sa zaoberala detailne jedným vybraným spojom, ktorý je zobrazený na obrázku 13.1. Jeho vypočítaná tuhosť je zobrazená v tabuľke nižšie. Hodnoty tuhosti zvyšných spojov boli vypočítané tabuľkovým programom Excel a tuhosti v mieste kotvenia stĺpov do železobetónovej dosky boli prevzaté od Ing. Dávida Mikoláška, Ph.D.

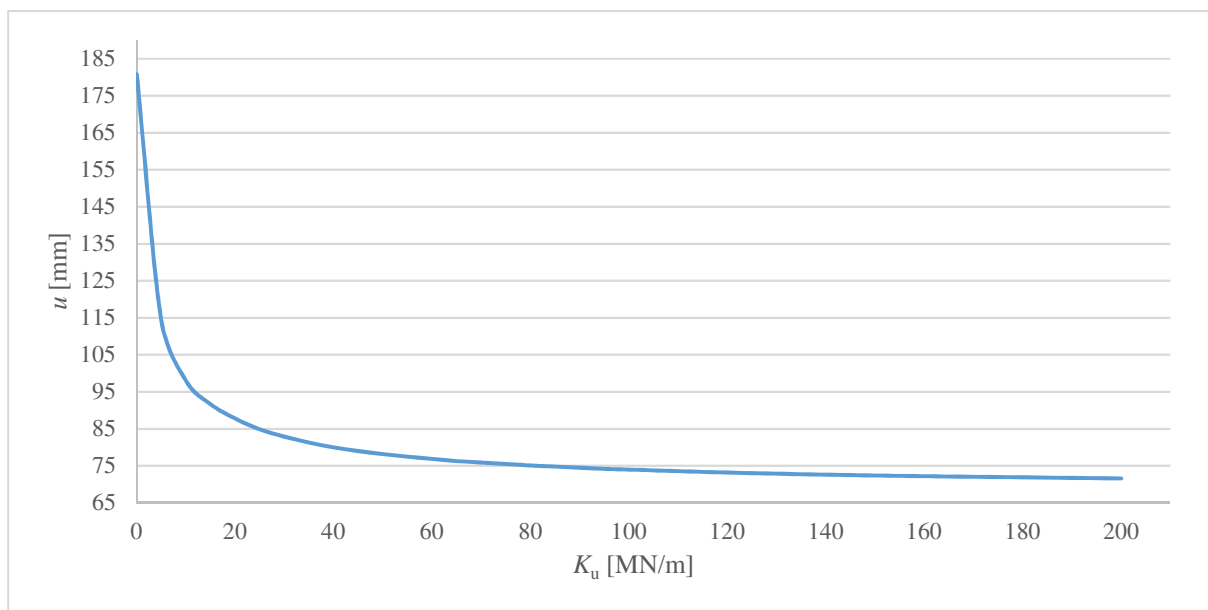
Tabuľka 8.1 Hlavný nosný spoj (T spoj)

T spoj	Priemer [mm]	ks	K_u [MN/m]
Vrut	10,00	56,00	203,17
Svorník	14,00	16,00	161,71
Výsledné K_u			90,04

Pre konštrukciu boli vytvorené grafy 8.1, ktorý znázorňuje závislosť vodorovného posunu celej konštrukcie na tuhosti hlavného nosného spoja a graf 8.2, ktorý zobrazuje závislosť medzi tuhosťou hlavného spoja a vnútornými silami stĺžidla a šikmého stĺpu. Tieto grafy boli vytvorené pre zistenie „kriticky“ nízkej hodnoty tuhosti, pri ktorej dosiahnutí sa výrazne menia výsledky. Dosiahnutím tejto „kriticky“ nízkej tuhosti sa v grafe 8.1 výrazne zmení vodorovný posun celej konštrukcie a v grafe 8.2 prerozdelenie vnútorných síl medzi stĺžidlom a šikmým stĺpom. Na grafoch 8.1 a 8.2 môžeme vidieť, že tento „kritický“ bod leží na hranici cca 60 MN/m. Graf 8.1 bol vytvorený pre nelineárny výpočet kombinácie NC457.

Obsah kombinácie:

$$NC457 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS13 \cdot 1,50$$

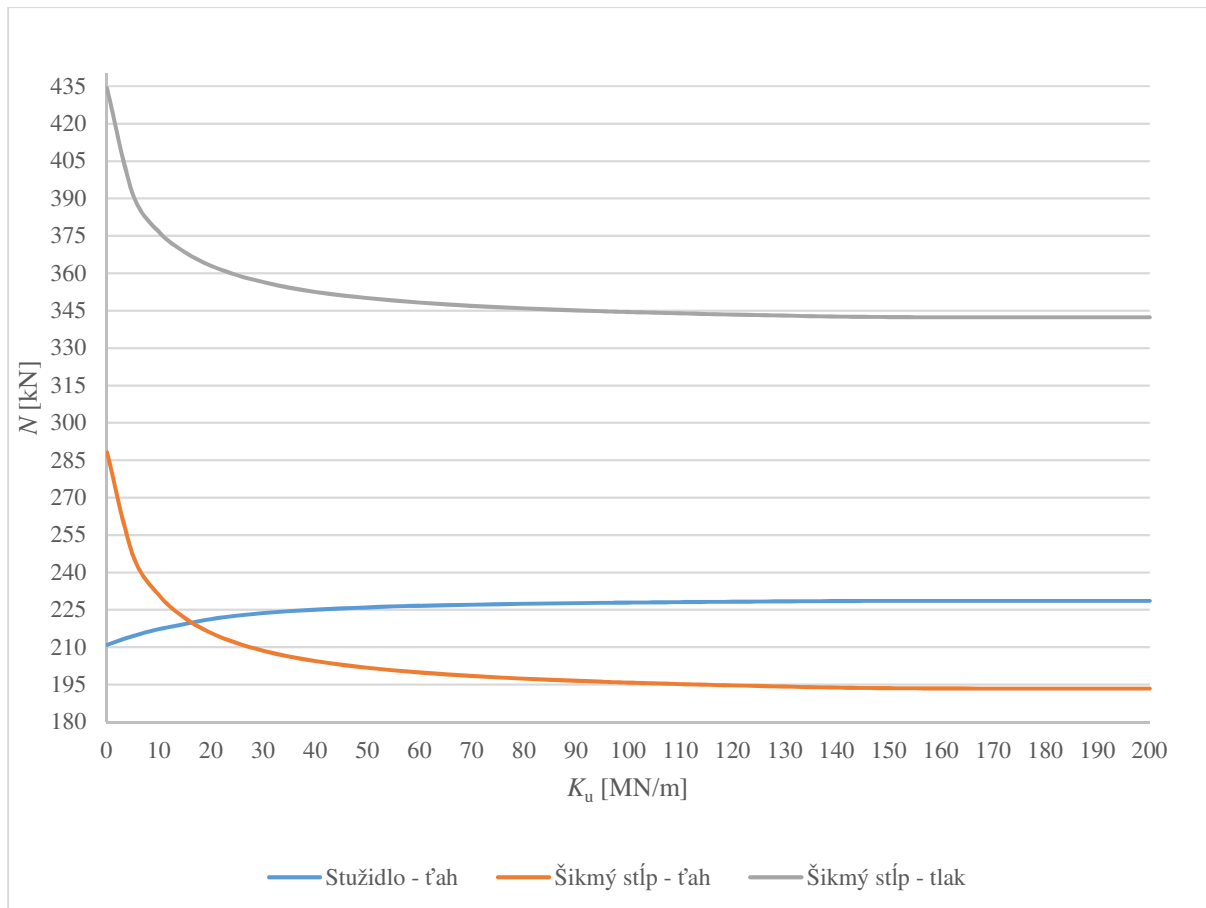


Graf 8.1 Závislosť deformácie na tuhosti

Na grafe 8.2 môžeme vidieť že táto „kriticky“ nízka tuhosť leží na hranici cca 60 MN/m. Graf bol vytvorený pre kombináciu zaťaženia NC394.

Obsah kombinácie:

$$NC394 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$



Graf 8.2 Závislosť prerozdelenia vnútorných síl medzi stužidlom a šikmým stĺpom

Graf 8.2 bol vytvorený pre zistenie chyby prípadného nepresného výpočtu tuhosti spoja. Pri navrhnutí nedostatočne tuhého spoja, by šikmé stĺpy preberali omnoho väčšie sily. Na základe tohoto grafu môžeme usúdiť, že zvyšujúcou sa tuhosťou hlavného spoja sa výrazne mení prerozdelenie vnútorných síl medzi stužidlom a šikmým stĺpom. Od hodnoty tuhosti cca 60 MN/m je toto prerozdelenie približne rovnaké, pretože rozdiel medzi tuhosťou 60 MN/m a 200 MN/m je 0,88 %, čo je pomerne zanedbateľný rozdiel.

9. Strata stability

Strata stability stavebnej konštrukcie môže spôsobiť jej zlyhanie. Je nežiadúce, aby sa konštrukcia zrútila alebo vychýlila a zmenila tvar vybočenia. Konštrukcia bola analyzovaná programom Scia Engineer 16.1 režimom nelineárna stabilita. Výsledkom výpočtu je násobiteľ zaťaženia α_{cr} , ktorým by museli byť zväčšené zaťaženia, aby spôsobili stratu stability v pružnom stave s globálnym vlastným tvarom. Pre vytvorenie stabilitných kombinácií boli použité nelineárne kombinácie, ktoré vyvodili v posudzovaných prvkoch maximálne tlakové sily vid' tabuľka 7.1. Pre každú stabilitnú kombináciu bolo spočítaných prvých 12 vlastných tvarov. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 9.1. Ukážka globálnej straty stability konštrukcie (kombinácia S2) je na obrázku 9.1 až 9.3.

Obsah kombinácií:

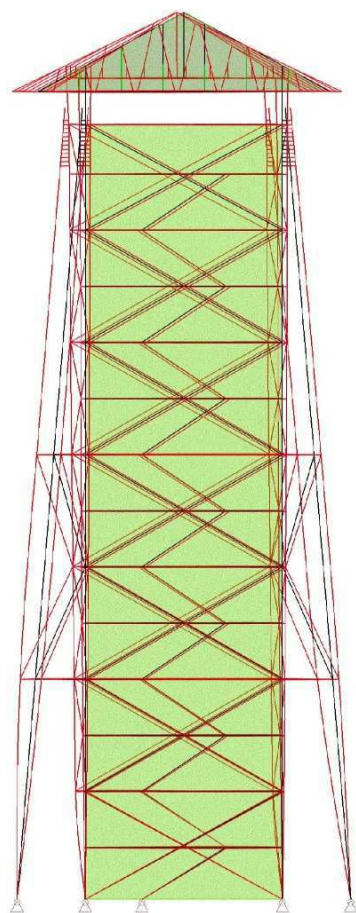
$$S1 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS9 \cdot 1,50$$

$$S2 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS5 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS10 \cdot 1,50$$

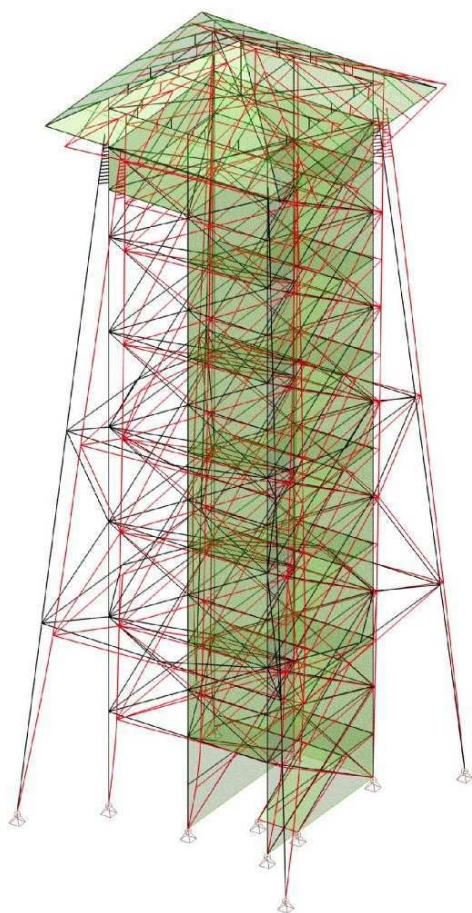
$$S3 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS12 \cdot 1,50$$

$$S4 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS13 \cdot 1,50$$

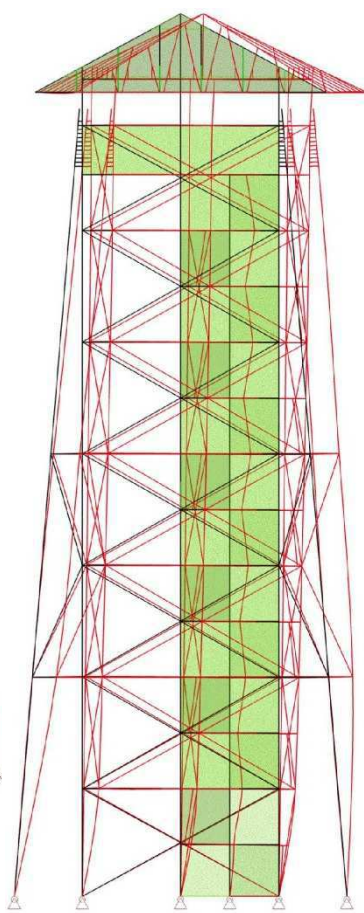
$$S5 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS5 \cdot 0,75 + ZS12 \cdot 1,50$$



Obrázok 9.1 Pohľad x,z



Obrázok 9.2 Axonometrický pohľad



Obrázok 9.3 Pohľad y,z

Tabuľka 9.1 Výsledky stability

Kombinácia	Vlastný tvar	α_{cr} [-]
S1	9	13,24
S2	4	10,71
S3	4	10,17
S4	10	12,90
S5	10	14,86

10. Všeobecné vzorce ku MSÚ

Všetky prvky sú z hranatých profilov, pre ich prierezové charakteristiky platia vzťahy.

10.1 Prierezové charakteristiky

Plocha prvku

$$A = b \cdot h \quad (10.1)$$

kde b je šírka prvku

h výška prvku

Plocha kruhového prierezu .

$$A_k = \frac{\pi \cdot d^2}{32} \quad (10.2)$$

kde d je priemer prierezu

Prierezový modul pre kruh

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (10.3)$$

kde d je priemer prierezu

Prierezový modul k ose y

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad (10.4)$$

kde b je šírka prvku

h výška prvku

Prierezový modul k ose z

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h \quad (10.5)$$

kde b je šířka prvku

h výška prvku

Moment zotrvačnosti k ose y

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (10.6)$$

kde b je šířka prvku

h výška prvku

Moment zotrvačnosti k ose z

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h \quad (10.7)$$

kde b je šířka prvku

h výška prvku

Polomer zotrvačnosti k ose y

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (10.8)$$

kde I_y je moment zotrvačnosti k ose y

A plocha prvku

Polomer zotrvačnosti k ose z

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \quad (10.9)$$

kde I_z je moment zotrvačnosti k ose z

A plocha prvku

10.2 Materiálové charakteristiky dreva

Drevo: GL28h

Typ: Lepené lamelové drevo

Trieda prevádzky: 3

Trvanie: krátkodobé (rozhodujúca kombinácia je vždy vietor alebo úžitné zaťaženie)

Dielčí súčiniteľ spoľahlivosti

$\gamma_m = 1,25$ (pre lepené lamelové drevo)

$k_{mod} = 0,70$

Charakteristické pevnosti:

$f_{c,0,k} = 26,50 \text{ MPa}$

$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ MPa}$

$f_{m,k} = 28,00 \text{ MPa}$

$f_{v,k} = 3,50 \text{ MPa}$

5 % kvantil modulu pružnosti:

$E_{0,05} = 9600 \text{ MPa}$

Charakteristická hustota:

$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$

Návrhová pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (10.10)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti

$f_{c,0,k}$ charakteristická pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami

γ_M dielčí súčiniteľ vlastnosti materiálu

Návrhová pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (10.11)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti

$f_{t,0,k}$ charakteristická pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami

γ_M dielčí súčiniteľ vlastnosti materiálu

Návrhová pevnosť v ohybe

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (10.12)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti

$f_{m,k}$ charakteristická pevnosť v ohybe

γ_M dielčí súčiniteľ vlastnosti materiálu

Návrhová pevnosť v šmyku

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (10.13)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti

$f_{v,k}$ charakteristická pevnosť v šmyku

γ_M dielčí súčiniteľ vlastnosti materiálu

10.3 Návrhové napätia dreva

Normálové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} \quad (10.14)$$

kde N_{Ed} je návrhová normálová tlaková sila

A plocha prvku

Normálové napätie v tlaku kolmo na vlákna

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} \quad (10.15)$$

kde N_{Ed} je návrhová normálová tlaková sila

A plocha prvku

Normálové napätie v ťahu rovnobežne s vláknami

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} \quad (10.16)$$

kde N_{Ed} je návrhová normálová ťahová sila

A plocha prvku

Normálové napätie v ohybe k osi y

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M_{Ed,y}|}{W_y} \quad (10.17)$$

kde $M_{Ed,y}$ je návrhový ohybový moment k osi y

W_y prierezový modul k osi y

Normálové napätie v ohybe k osi z

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{|M_{Ed,z}|}{W_z} \quad (10.18)$$

kde $M_{Ed,z}$ je návrhový ohybový moment k osi z

W_z prierezový modul k osi z

Šmykové napätie

$$\tau_d = \frac{4 \cdot V_{Ed}}{3 \cdot A_{ef}} \quad (10.19)$$

kde V_{Ed} je návrhová posúvajúca sila

A_{ef} efektívna plocha prvku

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h \quad (10.20)$$

kde b_{ef} je efektívna šírka prvku

$$b_{ef} = 0,67 \cdot b \quad (10.21)$$

kde b je šírka prvku

10.4 Materiálové charakteristiky ocele

Ako materiál pre stužidla a plechy spojov bola použitá oceľ S355, ktorej medza klzu $f_y = 355$ MPa.

Návrhová hodnota medze klzu sa počíta:

$$f_{y,d} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (10.22)$$

kde f_y je medza klzu ocele prvku

γ_{M0} dielčí súčiniteľ spoľahlivosti materiálu, $\gamma_{M0} = 1,00$

10.5 Návrhová únosnosť ocele

Návrhová únosnosť ocele v ťahu sa vypočíta nasledovne:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} \quad (10.23)$$

kde A je plocha prierezu prvku

$f_{y,d}$ návrhová hodnota medza klzu ocele vid' (10.20)

10.6 Súčiniteľ vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$

Štíhle tlačené prvky je nutné posúdiť s vplyvom vzperu prostredníctvom súčiniteľa $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$.

Postup jeho stanovenia vyjadrujú nasledujúce vzťahy.

Štíhlostný pomer k ose y:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \quad (10.24)$$

kde $L_{cr,y}$ je vzperná dĺžka v rovine väzby

i_y polomer zotrvačnosti

Štíhlostný pomer k ose z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \quad (10.25)$$

kde $L_{cr,z}$ je vzperná dĺžka v rovine väzby

i_z polomer zotrvačnosti

Pomerné štíhlosti:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (10.26)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (10.27)$$

kde λ_y a λ_z sú štíhlostné pomery zodpovedajúce ohybu okolo osy y (priehyb v smere osi z)

$E_{0,05}$ hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti rovnobežne s vláknami

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (10.28)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (10.29)$$

kde β_c je súčiniteľ pre prvky splňujúce amplitúdy zakrivenia merané uprostred medzi podporami. $\beta_c = 0,1$ pre lepené lamelové drevo.

$\lambda_{rel,y}$ a $\lambda_{rel,z}$ štíhlostné pomery

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (10.30)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (10.31)$$

$$k_m = 0,7 \text{ pre obdĺžnikové prierezy} \quad (10.32)$$

$$k_m = 1 \text{ pre ostatné prierezy}$$

10.7 Podmienky posúdenia drevených prvkov MSU

Podmienka posúdenia kombinácie vzperného tlaku a dvojosého ohybu.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10.33)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10.34)$$

Platia hodnoty k_m uvedené v (10.32).

Podmienka posúdenia kombinácie dvojosého ohybu a osového ťahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10.35)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10.36)$$

Platia hodnoty k_m uvedené v (10.32).

Podmienka posúdenia kombinácie ohybu a osového tlaku

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10.37)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10.38)$$

Platia hodnoty k_m uvedené v (10.32).

Podmienka posúdenia šmyku

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (10.39)$$

kde τ_d je návrhové napätie v šmyku
 $f_{v,d}$ návrhová pevnosť v šmyku

Podmienka posúdenia ťahu rovnobežne s vláknami.

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (10.40)$$

kde $\sigma_{t,0,d}$ je návrhové ťahové napätie rovnobežne s vláknami
 $f_{t,0,d}$ návrhová pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami

Podmienka posúdenia tlaku kolmo na vlákna.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{t,0,d} \quad (10.41)$$

kde $\sigma_{c,90,d}$ je návrhové tlakové napätie kolmo na vlákna
 $f_{t,0,d}$ návrhová pevnosť kolmo na vlákna
 $k_{c,90}$ súčiniteľ zohľadňujúci usporiadanie zaťaženia, možnosť štiepenia a stupeň deformácie v tlaku, $k_{c,90} = 1,75$

10.8 Podmienky posúdenia oceľových prvkov MSU

Pre posúdenie oceľového prvku v ťahu je nutné splniť podmienku (10.40).

$$N_{t,Rd} \geq N_{ed} \quad (10.42)$$

kde $N_{t,Rd}$ je návrhová únosnosť prierezu vid' (10.21)
 N_{ed} návrhová ťahová vnútorná sila

11. Medzný stav únosnosti

Prekročenie medzného stavu únosnosti má za následok porušenie konštrukcie a väčšinou vyvoláva potrebu významnej opravy alebo odstránenie konštrukcie. Zníženie pravdepodobnosti prekročenia medzného stavu únosnosti sa prevádza úpravou charakteristických hodnôt zaťaženia a vlastností materiálu, teda zavedením návrhových hodnôt, dielčím súčiniteľom spoľahlivosti γ .

Návrhové hodnoty vnútorných síl boli získané nelineárnym výpočtom s uvažovaním modulov posunutia K_u geometrickej a konštrukčnej nelinearity. Pri následujúcich posudkoch (v tejto práci boli posúdené najzásadnejšie prvky) budú uvedené vnútorné sily vstupujúce do výpočtu, z ktorej kombinácie zaťaženia vznikli a obsah zmienenej kombinácie. Posudok bol prevedený podľa [6] a [7].

11.1 Stĺp

Navrhnutý profil 240/240 GL28h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu vzperného tlaku s dvojosým ohybom 11.1.1, na maximálnu posúvajúcu silu 11.1.2 a ťah rovnobežne s vláknami 11.1.3.

V tabuľke 11.1 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 10.1 a v tabuľke 11.2 vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$ podľa 10.6.

Tabuľka 11.1 Stĺp – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	240,00	[mm]
b_{ef}	161,00	[mm]
h	240,00	[mm]
A	57600,00	[mm ²]
A_{ef}	38592,00	[mm ²]
W_y	2,30+E06	[mm ³]
W_z	2,30+E06	[mm ³]
I_y	2,80E+08	[mm ⁴]
I_z	2,80E+08	[mm ⁴]
i_y	69,28	mm
i_z	69,28	mm
k_m	1,00	[-]

Tabuľka 11.2 Stĺp – vzperné charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	1360,00	[mm]
$L_{cr,z}$	1360,00	[mm]
λ_y	19,63	[-]
λ_z	19,63	[-]
$\lambda_{rel,y}$	0,33	[-]
$\lambda_{rel,z}$	0,33	[-]
β	0,10	[-]
k_y	0,56	[-]
$k_{c,y}$	1,00	[-]
k_z	0,56	[-]
$k_{c,z}$	1,00	[-]

Keďže $\lambda_{rel,y} \geq 0,3$ a $\lambda_{rel,z} \geq 0,3$, má podmienka posúdenia splňovať (10.33) a (10.34).

11.1.1 Posúdenie kombinácie vzperného tlaku s dvojosým ohybom

Posúdenie na kombináciu maximálnej tlakovej sily N_{Ed} s uvažovaním vzperu a príslušných ohybových momentov $M_{Ed,y}$ a $M_{Ed,z}$ (v rovnakom reze) podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými lemmami.

V tabuľke 11.3 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC449.

Obsah kombinácie:

$$NC449 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS13 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.3 Stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC449

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-238,70	[kN]
$M_{Ed,y}$	-6,75	[kNm]
$M_{Ed,z}$	9,31	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	4,14	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	2,93	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	4,04	[MPa]

Posudok:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,72 < 1 → Vyhovuje

Využitie 72,47 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,72 < 1 → Vyhovuje

Využitie 72,47 %

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,y}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,z}$ a príslušnú tlakovú silu N_{Ed} s uvažovaním vzperu podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými lemmami.

V tabuľke 11.4 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC446.

Obsah kombinácie:

$$NC446 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.4 Stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC446

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-182,91	[kN]
$M_{Ed,y}$	-15,61	[kNm]
$M_{Ed,z}$	-4,66	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	3,18	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	6,78	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	2,02	[MPa]

Posudok:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,78 < 1 → Vyhovuje

Využitie 77,57 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,78 < 1 → Vyhovuje

Využitie 77,57 %

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,z}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,y}$ a príslušnú tlakovú silu N_{Ed} s uvažovaním vzperu podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými lemmami.

V tabuľke 11.5 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC423.

Obsah kombinácie:

$$NC423 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS9 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.5 Stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC423

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-193,00	[kN]
$M_{Ed,y}$	3,32	[kNm]
$M_{Ed,z}$	11,44	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	3,35	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	1,44	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	4,97	[MPa]

Posudok:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$0,64 < 1 \rightarrow$ Vyhovuje

Využitie 63,51 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$0,64 < 1 \rightarrow$ Vyhovuje

Využitie 63,51 %

11.1.2 Posúdenie únosnosti v šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (10.39).

V tabuľke 11.6 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC442.

Obsah kombinácie:

$$NC442 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS7 \cdot 1,05 + ZS12 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.6 Stĺp – šmyk

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,96	[MPa]
V_{Ed}	-24,19	[kN]
τ_d	0,94	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$0,94 < 1,96 \rightarrow$ Vyhovuje

Využitie 47,97 %.

11.1.3 Posúdenie únosnosti v ťahu rovnobežne s vláknami

Posúdenie na maximálnu ťahovú silu N_{Ed} , podľa (10.40).

V tabuľke 11.7 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC416.

Obsah kombinácie:

$$NC416 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS13 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.7 Stĺp – ťah rovnobežne s vláknami

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{t,0,d}$	10,92	[MPa]
N_{Ed}	235,46	[kN]
$\sigma_{t,0,d}$	4,09	[MPa]

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$4,09 < 10,92 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 37,43 %.

11.2 Šikmý stĺp

Navrhnutý profil 240/420 GL28h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu vzperného tlaku s dvojsoým ohybom 11.2.1, na maximálnu posúvajúcu silu 11.2.2 a ťah rovnobežne s vláknami 11.2.3.

V tabuľke 11.8 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 10.1 a v tabuľke 11.9 vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$ podľa 10.6.

Tabuľka 11.8 Šikmý stĺp – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	240,00	[mm]
b_{ef}	161,00	[mm]
h	420,00	[mm]
A	100800,00	[mm ²]
A_{ef}	67536,00	[mm ²]
W_y	7,06+E06	[mm ³]
W_z	4,03+E06	[mm ³]
I_y	1,50E+09	[mm ⁴]
I_z	4,84E+08	[mm ⁴]
i_y	121,24	mm
i_z	69,28	mm
k_m	0,7	[-]

Tabuľka 11.9 Šikmý stĺp – vzperné charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	5376,00	[mm]
$L_{cr,z}$	5376,00	[mm]
λ_y	44,34	[-]
λ_z	77,60	[-]
$\lambda_{rel,y}$	0,74	[-]
$\lambda_{rel,z}$	1,30	[-]
β	0,10	[-]
k_y	0,78	[-]
$k_{c,y}$	0,92	[-]
k_z	1,39	[-]
$k_{c,z}$	0,53	[-]

Keďže $\lambda_{rel,y} \geq 0,3$ a $\lambda_{rel,z} \geq 0,3$, má podmienka posúdenia splňovať (7.25) a (7.26).

11.2.1 Posúdenie kombinácie vzperného tlaku s dvojosým ohybom

Posúdenie na kombináciu maximálnej tlakovej sily N_{Ed} s uvažovaním vzperu a príslušných ohybových momentov $M_{Ed,y}$ a $M_{Ed,z}$ (v rovnakom reze) podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými lehami.

V tabuľke 11.10 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC457.

Obsah kombinácie:

$$NC457 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS13 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.10 Šikmý stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC457

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	- 464,84	[kN]
$M_{Ed,y}$	- 17,93	[kNm]
$M_{Ed,z}$	5,43	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	4,77	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	2,47	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	1,17	[MPa]

Posudok

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,56 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 55,98 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,79 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 79,43 %

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,y}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,z}$ a príslušnú tlakovú silu N_{Ed} s uvažovaním vzperu podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými lemmami.

V tabuľke 11.11 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC456.

Obsah kombinácie:

$$NC456 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS7 \cdot 1,05 + ZS13 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.11 Šikmý stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC456

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-446,36	[kN]
$M_{Ed,y}$	-18,00	[kNm]
$M_{Ed,z}$	5,34	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	4,60	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	2,48	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	1,15	[MPa]

Posudok:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,55 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 54,69 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,76 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 77,13 %

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,z}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,y}$ a príslušnú tlakovú silu N_{Ed} s uvažovaním vzperu podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými lemami.

V tabuľke 11.12 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC440.

Obsah kombinácie:

$$NC440 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.12 Šikmý stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC440

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-350,81	[kN]
$M_{Ed,y}$	-13,57	[kNm]
$M_{Ed,z}$	6,77	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	3,48	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	1,92	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	1,68	[MPa]

Posudok:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,45 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 45,30 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,38 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 63,74 %

11.2.2 Posúdenie únosnosti v šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu V_{Ed} podľa (10.39).

V tabuľke 11.13 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC461.

Obsah kombinácie:

$$NC461 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS5 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS13 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.13 Šikmý stĺp – šmyk

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,96	[MPa]
V_{Ed}	-40,32	[kN]
τ_d	0,90	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,90 < 1,96 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 45,69 %.

11.2.3 Posúdenie únosnosti v ťahu rovnobežne s vláknami

Posúdenie na maximálnu ťahovú silu N_{Ed} , podľa (10.40).

V tabuľke 11.14 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2 a hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC465.

Obsah kombinácie:

$$NC465 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS12 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.14 Šikmý stĺp – posúdenie ťahu rovnobežne s vláknami

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{t,0,d}$	10,92	[MPa]
N_{Ed}	351,43	[kN]
$\sigma_{t,0,d}$	3,49	[MPa]

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$3,49 < 10,92 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 31,93 %.

11.3 Lem poschodia

Navrhnutý profil 240/260 GL28h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu vzperného tlaku s dvojsoým ohybom 11.2.1 a na maximálnu posúvajúcu silu 11.2.2

V tabuľke 11.15 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 11.16 a v tabuľke 11.9 vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$ podľa 10.6.

Tabuľka 11.15 Lem poschodia – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	240,00	[mm]
b_{ef}	161,00	[mm]
h	260,00	[mm]
A	62400,00	[mm ²]
A_{ef}	41808,00	[mm ²]
W_y	2,70+E06	[mm ³]
W_z	2,50+E06	[mm ³]
I_y	3,50E+08	[mm ⁴]
I_z	3,08E+08	[mm ⁴]
i_y	75,06	[mm]
i_z	69,28	[mm]
k_m	0,70	[-]

Tabuľka 11.16 Lem poschodia – vzperné charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	2385,00	[mm]
$L_{cr,z}$	2385,00	[mm]
λ_y	31,78	[-]
λ_z	34,42	[-]
$\lambda_{rel,y}$	0,53	[-]
$\lambda_{rel,z}$	0,58	[-]
β	0,10	[-]
k_y	0,65	[-]
$k_{c,y}$	0,97	[-]
k_z	0,68	[-]
$k_{c,z}$	0,96	[-]

Keďže $\lambda_{rel,y} \geq 0,3$ a $\lambda_{rel,z} \geq 0,3$, má podmienka posúdenia splňovať (10.33) a (10.34).

11.3.1 Posúdenie kombinácie vzperného tlaku s dvojosým ohybom

Posúdenie na kombináciu maximálnej tlakovej sily N_{Ed} s uvažovaním vzperu a príslušných ohybových momentov $M_{Ed,y}$ a $M_{Ed,z}$ (v rovnakom reze) podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými stĺpami.

V tabuľke 11.17 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC483.

Obsah kombinácie:

$$NC483 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.17 Lem poschodia - vzperný tlak s dvojosým ohybom NC483

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-155,45	[kN]
$M_{Ed,y}$	0,23	[kNm]
$M_{Ed,z}$	-2,57	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	2,49	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	0,09	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	1,03	[MPa]

Posudok

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,22 < 1 → Vyhovuje

Využitie 22,46 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,24 < 1 → Vyhovuje

Využitie 24,41 %

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,y}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,z}$ a príslušnú tlakovú silu N_{Ed} s uvažovaním vzperu podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými stĺpami.

V tabuľke 11.18 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC423.

Obsah kombinácie:

$$NC423 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS9 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.18 Lem poschodia – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC423

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-82,06	[kN]
$M_{Ed,y}$	25,03	[kNm]
$M_{Ed,z}$	3,50	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	1,32	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	9,26	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	1,40	[MPa]

Posudok:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,74 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 74,44 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,59 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 59,49 %

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,z}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,y}$ a príslušnú tlakovú silu N_{Ed} s uvažovaním vzperu podľa (10.33) a (10.34), kde vzperná dĺžka bola konzervatívne braná ako systémová dĺžka medzi jednotlivými lemmami.

V tabuľke 11.19 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC446.

Obsah kombinácie:

$$NC446 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,05 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.19 Lem poschodia – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC446

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	14,84	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-7,08	[kN]
$M_{Ed,y}$	15,81	[kNm]
$M_{Ed,z}$	8,22	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	0,11	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	5,85	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	3,29	[MPa]

Posudok:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,53 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 52,78 %

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,48 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 47,90 %

11.3.2 Posúdenie únosnosti v šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu V_{Ed} podľa (10.39).

V tabuľke 11.13 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC398.

Obsah kombinácie:

$$NC398 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS13 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.20 Lem poschodia – šmyk

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,42	[MPa]
V_{Ed}	-40,65	[kN]
τ_d	1,46	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$1,46 < 1,96 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 74,41 %.

11.4 Plošinový nosník

Navrhnutý profil 240/260 GL28h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu osového ťahu s dvojsoým ohybom 11.4.1 a na maximálnu posúvajúcu silu 11.4.2.

V tabuľke 11.21 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 11.16.

Tabuľka 11.21 Plošinový nosník – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	240,00	[mm]
b_{ef}	160,00	[mm]
h	260,00	[mm]
A	62400,00	[mm ²]
A_{ef}	41808,00	[mm ²]
W_y	2,70+E06	[mm ³]
W_z	2,50+E06	[mm ³]
I_y	3,50E+08	[mm ⁴]
I_z	3,08E+08	[mm ⁴]
k_m	0,70	[-]

11.4.1 Posúdenie a osového ťahu a dvojosého ohybu

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,y}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,z}$ a osového ťahu (v rovnakom reze) podľa (10.35) a (10.36).

V tabuľke 11.22 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC196.

Obsah kombinácie:

$$NC196 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS8 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.22 Plošinový nosník – osový ťah a dvojosý ohyb

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{t,0,d}$	10,92	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	3,58	[kN]
$M_{Ed,y}$	36,38	[kN/m]
$M_{Ed,z}$	- 0,70	[kN/m]
$\sigma_{t,0,d}$	0,06	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	13,45	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	0,26	[MPa]

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,88 < 1 → Vyhovuje

Využitie 87,58 %.

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,62 < 1 → Vyhovuje

Využitie 62,38 %.

11.4.2 Posúdenie únosnosti v šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (10.39).

V tabuľke 11.23 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC196.

Obsah kombinácie:

$$NC196 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS8 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.23 Plošinový nosník – posúdenie na šmyk

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,42	[MPa]
V_{Ed}	-32,15	[kN]
τ_d	1,15	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$1,15 < 1,96 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 58,85 %

11.5 Podestový nosník

Navrhnutý profil 220/280 GL28h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu osového tlaku s dvojsoým ohybom 11.5.1 a na maximálnu posúvajúcu silu 11.5.2.

V tabuľke 11.21 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 11.16.

Tabuľka 11.24 Podestový nosník – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	220,00	[mm]
b_{ef}	147,00	[mm]
h	280,00	[mm]
A	61600,00	[mm ²]
A_{ef}	41272,00	[mm ²]
W_y	2,87+E06	[mm ³]
W_z	2,87+E06	[mm ³]
I_y	4,02E+08	[mm ⁴]
I_z	4,02E+08	[mm ⁴]
k_m	0,70	[-]

11.5.1 Posúdenie dvojsoého ohybu a tlaku

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,y}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,z}$ a osového ťahu (v rovnakom reze) podľa (10.37) a (10.38).

V tabuľke 11.25 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC281.

Obsah kombinácie:

$$NC281 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,50 + ZS13 \cdot 0,90$$

Tabuľka 11.25 Podestový nosník – posúdenie osového tlaku a dvojsoého ohybu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{t,0,d}$	10,92	[MPa]
$f_{m,d}$	15,68	[MPa]
N_{Ed}	-3,44	[kN]
$M_{Ed,y}$	14,13	[kN/m]
$M_{Ed,z}$	-2,85	[kN/m]
$\sigma_{c,0,d}$	0,06	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	4,92	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	1,26	[MPa]

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,37 < 1 → Vyhovuje

Využitie 36,98 %

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

0,30 < 1 → Vyhovuje

Využitie 29,99 %

11.5.2 Posúdenie únosnosti vo šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu V_{Ed} podľa (10.39).

V tabuľke 11.26 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 10.2, hodnoty vypočítaných napätí podľa 10.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC281.

Obsah kombinácie:

$$NC281 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,50 + ZS13 \cdot 0,90$$

Tabuľka 11.26 Podestový nosník – posúdenie na šmyk

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,42	[MPa]
V_{Ed}	15,74	[kN]
τ_d	0,57	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,57 < 1,96 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 29,19 %

11.6 Oceľové stužidlo

Navrhnutý profil Rd 30 mm z ocele S355. Prvok bolo nutné posúdiť na osový ťah 11.6.1.

V tabuľke 11.27 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 10.4.

Tabuľka 11.27 Oceľové stužidlo – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
r	30,00	[mm]
A	706,86	[mm ²]

11.6.1 Posúdenie únosnosti v ťahu

Posúdenie na maximálnu normálovú silu N_{Ed} podľa (10.42).

V tabuľke 11.28 je uvedená hodnota návrhovej únosnosti podľa (10.23) a návrhová vnútorná sila. Rozhodujúca kombinácia NC394.

Obsah kombinácie:

$$NC394 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 11.28 Posúdenie ocelového stúžidla

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	227,61	[kN]
$N_{t,Rd}$	252,30	[kN]

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$252,30 > 227,61 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Využitie } 90,21 \%$$

12. Medzný stav použiteľnosti

Okrem únosnosti konštrukcie pri pôsobení zaťaženia musíme zabezpečiť bezproblémovú funkčnosť počas celej životnosti, estetickú stabilitu a elimináciu veľkých priehybov. Veľkosť pretvorenia sa posudzuje na účinky charakteristických zaťažení, skutočných profilov, priemerných modulov pružností $E_{0,mean}$ a modulov posunutí K_{ser} . Preto bolo potrebné vytvoriť druhý model konštrukcie s takýmito entitami.

Konečný priehyb sa môže vypočítať podľa vzťahu (12.1).

$$w_{fin} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad (12.1)$$

kde $w_{inst,G}$ je okamžitý priehyb od stáleho zaťaženia

$w_{inst,Q}$ okamžitý priehyb od úžitného zaťaženia

$\psi_{2,1}$ súčiniteľ pre kvázistálu hodnotu premenných zaťažení, 0,6 [-]

k_{def} súčiniteľ dotvarovania dreva, 2 [-]

Limitná hodnota okamžitého priehybu $w_{inst,max} = L/300$

Limitná hodnota konečného priehybu $w_{fin,max} = L/150$

Limitná hodnota vodorovného posunu konštrukcie $w_{vodorovné} = H/300$

12.1 Konštrukcia rozhl'adne

Celková deformácia $w_{celkové}$ 47,00 mm

Povolená deformácia $w_{dovolené}$ 71,67 mm

Rozhodujúca kombinácia bola MSP80

Posudok celkového priehybu:

$$w_{celkové} 47,00 \text{ mm} < w_{dovolené} 71,67 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 65,58 %

12.2 Plošinový nosník

Pri plošinách rozhl'adne sú nežiadúce nadmerné deformácie, teda je vhodné plošinový nosník posúdiť na medzný stav použiteľnosti. Hodnota w_{inst} bola spočítaná pomocou software Scia Engineer 16.1. Výsledky boli zhrnuté do nasledujúcej tabuľky.

Tabuľka 12.1 Plošinový nosník – posúdenie MSP

Veličina	Hodnota	Jednotka
L	4770,00	[mm]
$w_{inst,G}$	4,20	[mm]
$w_{inst,Q}$	8,30	[mm]
w_{inst}	12,50	[mm]
$w_{inst,max}$	15,90	[mm]
$w_{fin,G}$	12,60	[mm]
$w_{fin,Q}$	18,26	[mm]
w_{fin}	30,86	[mm]
$w_{fin,max}$	31,80	[mm]

Posudok okamžitého priehybu:

$$w_{inst} 12,50 \text{ mm} < w_{inst,max} 15,90 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 78,62 %

Posudok konečného priehybu:

$$w_{fin} 30,86 \text{ mm} < w_{fin,max} 31,80 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 97,04 %

12.3 Podestový nosník

Tabuľka 12.2 Podestový nosník – posúdenie MSP

Veličina	Hodnota	Jednotka
L	2385,00	[mm]
$w_{inst,G}$	2,20	[mm]
$w_{inst,Q}$	4,10	[mm]
w_{inst}	6,30	[mm]
$w_{inst,max}$	7,95	[mm]
$w_{fin,G}$	6,60	[mm]
$w_{fin,Q}$	9,02	[mm]
w_{fin}	15,62	[mm]
$w_{fin,max}$	15,90	[mm]

Posudok okamžitého priehybu:

$$w_{inst} 6,30 \text{ mm} < w_{inst,max} 7,95 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 79,25 %

Posudok konečného priehybu:

$$w_{fin} 15,62 \text{ mm} < w_{fin,max} 15,90 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

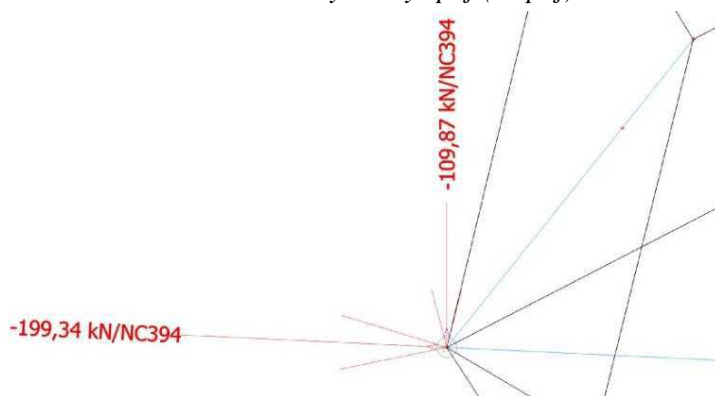
Využitie 98,24 %

13. Návrh a posudok vybraného spoja

Hlavný nosný spoj, zobrazený na obrázku 13.1, ďalej len ako T spoj. Tento spoj je navrhnutý pomocou čelnej ocelevej dosky, ktorá je pripojená vrutmi do dreveného stĺpa. Na túto čelnú dosku je pripojená obojstranným kútovým zvarom $a=5$ mm oceľová doska hrúbky 25 mm, ktorá slúži ako stredný prvok dvojstrižného spoja prichytený svorníkmi vid' obrázok 13.1. Do tejto dosky sa napájajú aj oceľové stužidla vid' obrázok 13.1. Ako plynie zo vzorca (13.18) účinný počet spojovacích prostriedkov v strihu n_{ef} je závislý na vzdialenosti a_1 a počtu spojovacích prostriedkov v rade. Preto bolo potrebné optimálne stanoviť túto vzdialenosť a navrhnuť správny počet spojovacích prostriedkov, aby bola zachovaná únosnosť spoja. Spoj je vždy navrhnutý podľa konkrétnej situácie preto bol navrhnutý dvoma variantmi, kapitola 13.5 a 13.6. Cieľom týchto variant bolo nájsť optimálne riešenie spoja. Vzhľadom k tomu, že spoj nemá byť oslabujúcim miestom konštrukcie boli vruty aj svorníky navrhnuté na maximálnu silu vyvolanú v prípoji vid' obrázok 13.2 bez počítanej tuhosti čelnej dosky a spolupôsobenia týchto častí. Oba varianty boli vymodelované ako škrupinový model v programe Scia Engineer 16.1 vid' kapitola 13.8.



Obrázok 13.1 Hlavný nosný spoj (T spoj)



Obrázok 13.2 Hodnoty síl v zadanom prípoji

13.1 Únosnosť ocelevej dosky

Charakteristická únosnosť spoja oceľ – drevo je závislá na hrúbke ocelevej dosky. Oceľová doska hrúbky menšej alebo rovnej $0,5 \cdot d$ je klasifikovaná ako tenká doska a oceľová doska hrúbky väčšej alebo rovnej d , s toleranciou rozmeru diery menšej než $0,1 \cdot d$, je klasifikovaná ako hrubá doska.

Oceľovú dosku je nutné posúdiť na odtlačenie od spojovacieho prostriedku (13.4) , porušenie blokovým šmykom (13.7) a pretlačenie hlavy vrtu (13.9).

Odtlačenie dosky sa vypočíta:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (13.1)$$

kde

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,70 \right\} \quad (13.2)$$

$$\alpha_b = \begin{cases} \frac{f_{u,b}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{cases} \quad (13.3)$$

kde e_1 je vzdialenosť stredu otvoru spojovacieho prostriedku ku príľahlému koncu akejkoľvek časti, ktorá sa merá v smere zaťaženia

e_2 vzdialenosť stredu otvoru spojovacieho prostriedku ku príľahlému koncu akejkoľvek časti, ktorá sa merá v pravom uhle ku smeru zaťaženia

d priemer vrtu, svorníka

d_0 priemer otvoru pre vrut, svorník

f_u medza pevnosti ocelevej dosky

$f_{u,b}$ medza pevnosti spojovacieho prostriedku

p_1 návrhová únosnosť jedného strihu jedného spojovacieho prostriedku

γ_{M2} dielčí súčiniteľ spoľahlivosti materiálu oslabeného otvorom

Podmienka posúdenia odtlačenia ocelevej dosky:

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed} \quad (13.4)$$

kde $F_{v,Ed}$ je návrhová odtlačujúca sila podľa (13.5)

Výpočet odtlačujúcej sily

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n_k} \quad (13.5)$$

kde V_{Ed} je návrhová šmyková sila
 n_k počet spojovacích prostriedkov

Porušenie blokovým šmykom:

$$V_{eff,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{u,b} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_{y,b} \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad (13.6)$$

kde A_{nt} je oslabená plocha prenašajúca ťahovú silu
 A_{nv} je oslabená plocha prenašajúca šmykovú silu
 $f_{u,b}$ medza pevnosti ocelej dosky
 $f_{y,b}$ medza klzu ocelej dosky

Podmienka posúdenia na blokový šmyk

$$V_{eff,Rd} \geq V_{Ed} \quad (13.7)$$

Únosnosť ocelej dosky na pretlačenie hlavy vrutu alebo matice.

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (13.8)$$

kde d_m je menšia z hodnôt priemeru priečných vzdialeností rohu a hran, ktoré sa stanovujú na hlave a matici svorníka, vrutu
 f_u medza pevnosti ocelej dosky

Podmienka posúdenia na pretlačenie hlavy vrutu alebo matice

$$B_{p,Rd} \geq F_{t,Ed} \quad (13.9)$$

kde

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_k} \quad (13.10)$$

kde N_{Ed} je návrhová normálová sila
 n_k počet spojovacích prostriedkov

13.2 Svorníkový spoj

13.2.1 Charakteristická únosnosť pre jeden strih spojovacieho prostriedku

Charakteristická únosnosť klincov, svorníkov, kolíkov a vrutov pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku $F_{v,Rk}$ sa má uvažovať ako najmenšia hodnota stanovená z nasledujúcich vzťahov.

Pre oceľovú dosku ľubovoľnej hrúbky ako stredný prvok dvojstrižného spoja sa vypočíta:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (f) \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (h) \end{cases} \quad (13.11)$$

Pre tenku oceľovú dosku ako vonkajší prvok jednostrizného spoja platí:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (a) \\ 1,15 \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (b) \end{cases} \quad (13.12)$$

Pre hrubú oceľovú dosku ako vonkajší prvok jednostrizne namáhaného spoja platí:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (c) \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \end{cases} \quad (13.13)$$

kde $f_{h,k}$ je charakteristická pevnosť v odtlačení v drevenom prvku podľa (13.16)

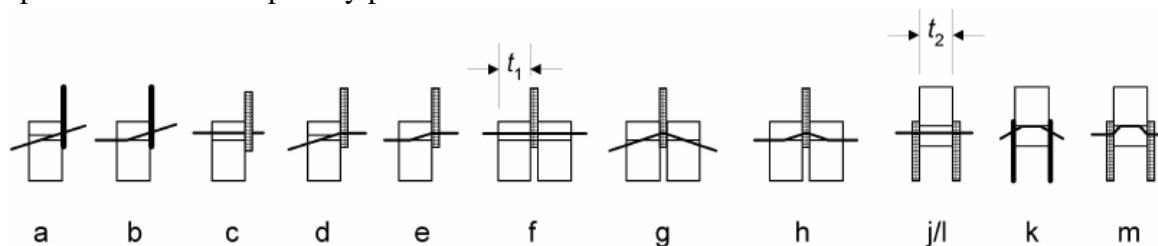
t_1 menšia hrúbka krajného dreveného prvku alebo hĺbka vniku

d priemer spojovacieho prostriedku

$M_{y,Rk}$ charakteristický plastický moment únosnosti spojovacieho prostriedku podľa (13.14)

$F_{ax,Rk}$ charakteristická osová únosnosť spojovacieho prostriedku podľa (13.21)

Prvá časť výrazu je strihová únosnosť podľa Johansenovej teórie a druhá časť je účinok od zopnutia. Jednotlivé spôsoby porušenia sú uvedené na obrázku 13.1.



Obrázok 13.3 Spôsoby porušenia pre spoje ocel' - drevo

Charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti sa spočíta ako:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (13.14)$$

kde $f_{u,k}$ je charakteristická medza pevnosti v ťahu spojovacieho prostriedku
 d priemer svorníka

Pre svorníky do priemeru 30 mm sa majú používať nasledujúce hodnoty charakteristickej pevnosti v odtlačení v dreve a LVL pre uhol α ku vláknam.

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (13.15)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (13.16)$$

kde

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \cdot d & \text{pre drevo ihličnatých drevín} \\ 1,30 + 0,015 \cdot d & \text{pre LVL} \\ 0,90 + 0,015 \cdot d & \text{pre drevo listnatých drevín} \end{cases}$$

a $f_{h,0,k}$ je charakteristická pevnosť v odtlačení rovnobežne s vláknami
 ρ_k charakteristická hustota dreva podľa 10.2
 α uhol zaťaženia vzhľadom ku vláknam
 d priemer svorníka

Charakteristická osová únosnosť $F_{ax,Rk}$ berie do úvahy účinok zopnutia spoja. Pre jednotlivé typy spojovacích prostriedkov je zavedený limit, o ktorý sa môže navýšiť hodnota únosnosti v strihu. Táto hodnota bola uvažovaná len pri výpočte vrutov. Pre vrutový spoj dovoľuje norma [7] zvýšiť hodnotu priečnej únosnosti až o 100 %.

13.2.2 Návrhová únosnosť pre jeden strih spojovacieho prostriedku

Návrhová únosnosť jedného strihu jedného spojovacieho prostriedku sa určí podľa vzťahu:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (13.17)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ podľa 10.2

γ_M dielčí súčiniteľ vlastnosti materiálu podľa 10.2

13.2.3 Účinný počet svorníkov

Pre jednu radu tvorenú n svorníkmi v smere vlákien, sa má únosnosť rovnobežne s vláknami vypočítať s použitím účinného počtu svorníkov n_{ef} .

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right\} \quad (13.18)$$

kde a_1 je rozteč medzi svorníkmi v smere vlákien stanovený podľa 13.2.5 alebo 13.3.4

d priemer svorníka

n počet svorníkov v rade

13.2.4 Celková únosnosť spoja pri namáhaní rovnobežne s vláknami dreva

Celková únosnosť spoja sa spočíta podľa vzťahu:

$$R_{d,spoj} = F_{v,Rd} \cdot n_r \cdot n_{st} \cdot n_{ef} \quad (13.19)$$

kde n_r je počet rad spojovacích prostriedkov

n_{st} počet strihov spoja

n_{ef} účinný počet spojovacích prostriedkov

$F_{v,Rd}$ návrhová únosnosť jedného strihu jedného spojovacieho prostriedku podľa

(13.11) až (13.13)

Posúdenie musí spĺňať podmienku

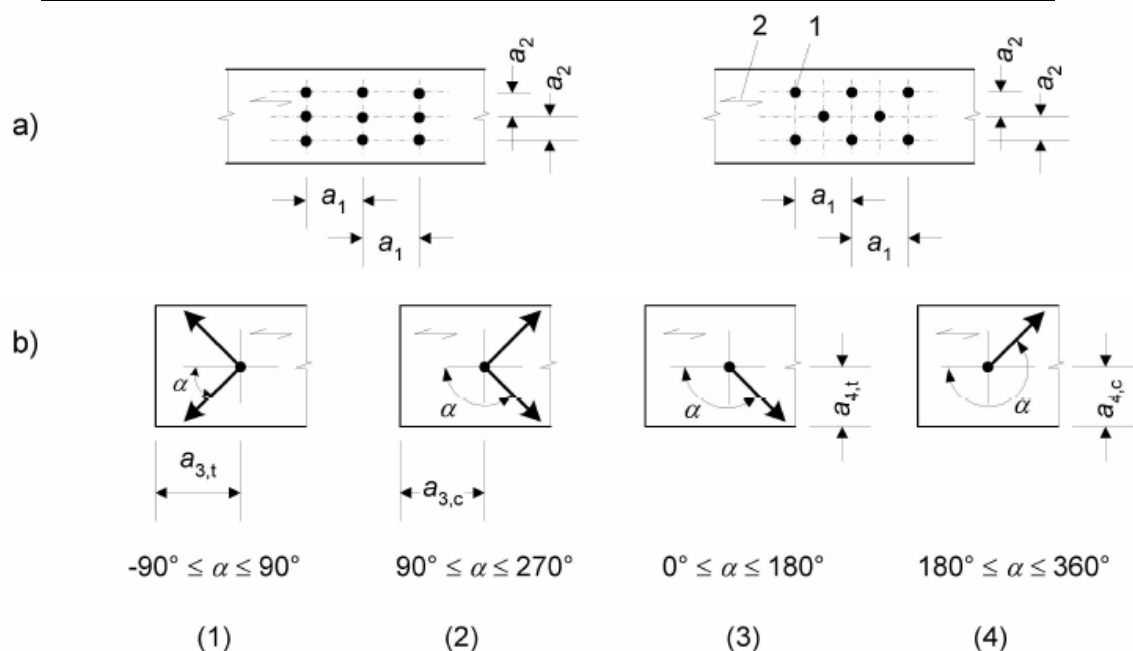
$$R_{d,spoj} \geq V_{Ed} \quad (13.20)$$

kde V_{Ed} je maximalna posúvajúca sila

13.2.5 Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností

Tabuľka 13.1 Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností

Rozteče a vzdialenosti od koncov/okrajov (viď obrázky 13.2)	Uhol	Minimálne rozteče alebo vzdialenosti
a_1 (rovnobežne s vláknami)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360$	$4 \cdot d$
$a_{3,t}$ (zaťažený koniec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (nezaťažený koniec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150$	$(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210$	$4 \cdot d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270$	$(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
$a_{4,t}$ (zaťažený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 1800$	$\max [(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d]$
$a_{4,c}$ (nezaťažený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360$	$3 \cdot d$



Legenda

- (1) Zaťažený koniec
- (2) Nezaťažený koniec
- (3) Zaťažený okraj
- (4) Nezaťažený okraj
- 1 Spojovací prostriedok
- 2 Smer vlákien

Obrázok 13.4 Rozteče a vzdialenosti od koncov a okrajov

(a) rozteče rovnobežne s vláknami v rade a kolmo ku vláknam medzi radami

(b) vzdialenosti od okrajov a koncov

13.3 Vrutový spoj

13.3.1 Priečne zaťažené vruty

Priečne zaťažené vruty kde $d > 6$ mm sa navrhujú ako svorníky. Boli navrhnuté podľa 13.2.

13.3.2 Osovo zaťažené vruty

Osovo zaťažené vruty sa musia posúdiť na:

- vytiahnutie závitovej časti vrutu podľa (13.22)
- prorušenie na odtrhnutie hlavy vrutu pre vruty používané v kombinácií s oceľovými doskami, odolnosť na odtrhnutie hlavy vrutu má byť väčšia ako pevnosť vrutu v ťahu
- porušenie vrutu ťahom podľa
- porušenie na pretlačenie hlavy vrutu
- porušenie po obvode skupiny vrutov použitých v kombinácií s oceľovými doskami na blokový šmyk podľa (13.7)

Charakteristická únosnosť na vytiahnutie sa má uvažovať takto:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (13.21)$$

kde

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} \quad (13.22)$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, 1 \right\} \quad (13.23)$$

$$l_{ef} = 0,6 \cdot l \quad (13.24)$$

$F_{ax,\alpha,Rk}$ je charakteristická únosnosť na vytiahnutie pod uhlom α ku vláknam

$f_{ax,k}$ charakteristická pevnosť na vytiahnutie kolmo ku vláknam

n_{ef} účinný počet vrutov podľa (13.27)

l_{ef} hĺbka zasahovania závitovej časti podľa (13.24)

ρ_k charakteristická hustota dreva podľa 10.2

α uhol medzi osou vrutu v smere vlákien

l dĺžka vrutu

Charakteristická únosnosť na pretiahnutie spojov s osovo zaťaženými vrutmi sa má uvažovať:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad (13.25)$$

kde $F_{ax,\alpha,Rk}$ je charakteristická únosnosť na vytiahnutie spoja pod uhlom α ku vláknam
 $f_{head,k}$ charakteristický parameter vrutu na vytiahnutie
 d_h priemer hlavy vrutu

Charakteristická únosnosť spoja v ťahu (odtrhnutie hlavy alebo ťahová únosnosť drieku):

$$F_{t,Rk} = n_{ef} \cdot f_{tens,k} \quad (13.26)$$

kde $f_{tens,Rk}$ je charakteristická únosnosť vrutu v ťahu
 n_{ef} účinný počet vrutov podľa (13.27)

Pre spoj so skupinou vrutov zaťažených zložkou sily rovnobežne s driekom, je účinný počet vrutov daný vzťahom:

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (13.27)$$

kde n je počet vrutov pôsobiacich spoločne v spoji

13.3.3 Vruty zaťažené súčasne priečne aj osovo

Pre vrutové spoje vystavené kombinácií osového zaťaženia a priečneho zaťaženia, má byť splnená nasledujúca podmienka:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (13.28)$$

kde $F_{ax,Rd}$ a $F_{v,Rd}$ sú návrhové únosnosti spoja zaťaženého osovým zaťažením alebo len priečnym zaťažením

13.3.4 Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností

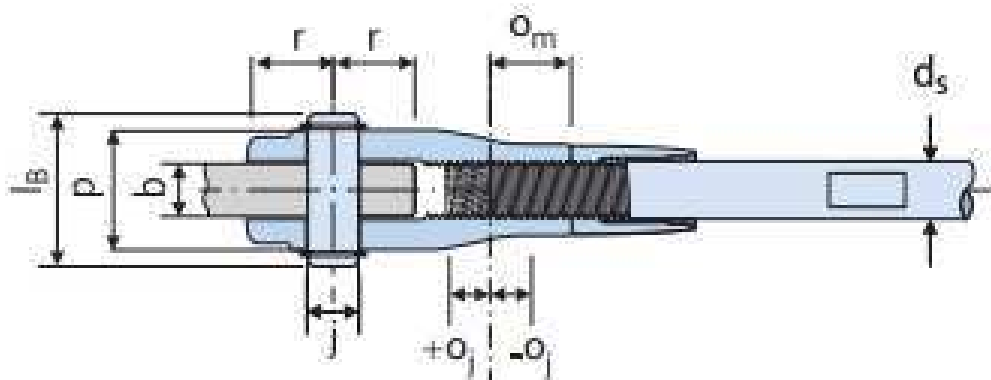
Pre priečne zaťaženie vruty platia hodnoty uvedené v tabuľke 13.1. Pre osovo zaťaženie vruty platia hodnoty podľa tabuľky 13.2.

Tabuľka 13.2 Hodnoty minimálnych roztečí a vzdialeností od čela a okrajov pre osovo zaťaženie vruty

Minimálne rozteče vrutov v rovine rovnobežnej s vláknami	Minimálne rozteče vrutov kolmo k rovine vlákien	Minimálna vzdialenosť ťažiska závitovej časti vrutu v prvku od čela	Minimálna vzdialenosť ťažiska od závitovej časti vrutu v prvku od okraja
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
$7 \cdot d$	$5 \cdot d$	$10 \cdot d$	$4 \cdot d$

13.4 Čapový spoj

Čapový spoj sa nachádza na doske, ktorá sa pripája pomocou zvaru ku čelnej doske, obrázok 13.1. Tento spoj bol navrhnutý podľa [12].



Obrázok 13.5 Rozmery čapového spoja podľa [12]

13.5 Variant A

Prvý navrhnutý variant spoja je tvorený hrubou, podľa 13.1, oceľovou čelnou doskou hrúbky 15 mm, ktorá je kotvená do dreveného stĺpa pomocou 56 ks 10 x 140 mm vrutov so šesťhranou hlavou. Na túto čelnú dosku sa kolmo napája oceľová doska hrúbky 25 mm pomocou celoobvodového konštrukčného zvaru $a = 5$ mm. Tento variant je výhodný z pohľadu dobrej životnosti a bezúdržbovosti spoja vplyvom zosychania dreva. Variant A spoja je priložený vo výkresovej časti príloh.

Tento spoj bolo potrebné posúdiť na únosnosť čelnej oceľovej dosky 13.5.1, pripojovanej oceľovej dosky 13.5.2, priečnej únosnosti svorníkov 13.5.6, únosnosť vrutov 13.5.3 až 13.5.5, a čapu 13.5.7. Rozhodujúca kombinácia NC394.

Obsah kombinácie:

$$NC394 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

13.5.1 Posúdenie čelnej oceľovej dosky.

V tabuľke 13.3 sú uvedené hodnoty materialových a prierezových veličín, v tabuľke 13.4 hodnoty roztečov podľa 13.3.4 a v tabuľke 13.5 návrhové hodnoty síl a únosností.

Tabuľka 13.3 Variant A čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	15,00	[mm]
d	10,00	[mm]
d_0	11,00	[mm]
d_m	17,00	[mm]
γ_{M2}	1,25	[-]
A_{nt}	442,50	[mm ²]
A_{nv}	11872,50	[mm ²]
n_v	56,00	[ks]

Tabuľka 13.4 Variant A čelná doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	30,00	[mm]
e_2	30,00,	[mm]
p_1	70,00	[mm]

Tabuľka 13.5 Variant A čelná doska - návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
V_{Ed}	109,87	[kN]
$F_{t,Ed,1}$	3,56	[kN]
$F_{v,Ed,1}$	1,96	[kN]
k_1	2,50	[-]
α_b	0,91	[-]
$F_{b,Rd}$	139,09	[kN]
$B_{p,Rd}$	196,11	[kN]
$V_{eff,Rd}$	2523,62	[kN]

Posúdenie na únosnosť v odtlačení dosky musí spĺňať vzťah (13.4)

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed,1}$$

$$139,09 \text{ kN} \geq 1,96 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 1,41 %

Posúdenie na pretlačenie hlavy alebo matice šróbu musí spĺňať (13.8).

$$B_{p,Rd} \geq F_{t,Ed,1}$$

$$196,11 \text{ kN} \geq 3,56 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 1,82 %

Posúdenie na porušenie blokovým šmykom musí spĺňať (13.7).

$$V_{eff,Rd} \geq V_{Ed}$$

$$2523,62 \text{ kN} \geq 109,87 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 4,35 %

13.5.2 Posúdenie pripojovanej oceľovej dosky.

V tabuľke 13.6 sú uvedené hodnoty materialových a prierezových veličín, v tabuľke 13.7 hodnoty roztečov podľa 13.3.4 a v tabuľke 13.8 návrhové hodnoty síl a únosností.

Tabuľka 13.6 Variant A pripojovaná doska – materialové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	500,00	[MPa]
t_p	25,00	[mm]
d	14,00	[mm]
d_0	15,00	[mm]
n_v	14,00	[ks]
γ_{M2}	1,25	[-]
A_{nt}	1190,86	[mm ²]
A_{nv}	3290,48	[mm ²]

Tabuľka 13.7 Variant A pripojovaná doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	80,00	[mm]
e_2	58,00	[mm]
p_1	80,00	[mm]

Tabuľka 13.8 Variant A pripojovaná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
V_{Ed}	106,52	[kN]
$F_{v,Ed,1}$	12,49	[kN]
k_1	2,50	[-]
α_b	0,98	[-]
$F_{b,Rd}$	250,00	[kN]
$V_{eff,Rd}$	1945,14	[kN]

Posúdenie na únosnosť v odtlačení dosky musí spĺňať vzťah (13.4)

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed,1}$$

$$250,00 \text{ kN} \geq 12,49 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 4,99 %

Posúdenie na porušenie blokovým šmykom musí spĺňať (13.7).

$$V_{eff,Rd} \geq V_{Ed}$$

$$1945,14 \text{ kN} \geq 199,34 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 7,51 %

13.5.3 Posúdenie priečnej únosnosti vrutov.

V tabuľke 13.9 sú uvedené hodnoty pevnosti a rozmery vrutu a vlastnosti dreva podľa 10.2, v tabuľke 13.10 hodnoty roztečov vrutu podľa 13.3.4 a v tabuľke 13.11 návrhové hodnoty síl a únosnosti podľa 13.2.

Tabuľka 13.9 Variant A priečna únosnosť vrutov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery vrutu

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	10,00	[mm]
l	140,00	[mm]
l_{ef}	84,00	[mm]
n_k	56,00	[ks]
n_r	4,00	[-]
n_{st}	1,00	[-]
n_{ef}	9,21	[ks]
$f_{y,k}$	640,00	[MPa]
$f_{u,k}$	800,00	[MPa]
γ_M	1,25	[-]
k_{mod}	0,70	[-]
ρ_k	410,00	[kg/m ³]

Tabuľka 13.10 Variant A priečna únosnosť vrutov - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
a_1	70,00	[mm]
a_2	50,00	[mm]
$a_{4,c}$	30,00	[mm]

Tabuľka 13.11 Variant A priečna únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$M_{y,Rk}$	95545,00	[N/mm]
$f_{h,0,k}$	30,00	[MPa]
$F_{v,Rd,1}$	8,31	[kN]
$F_{v,Ed}$	109,87	[kN]
$F_{v,Rd}$	306,00	[kN]

Posúdenie únosnosti spoja musí splňovať (13.8)

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$306,00 \text{ kN} > 109,87 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 35,90 %

13.5.4 Posúdenie osovej únosnosti vrutového spoja

V tabuľke 13.12 sú uvedené hodnoty pevnosti a rozmery vrutu a vlastnosti dreva podľa 10.2, v tabuľke 13.13 hodnoty roztečov vrutu podľa 13.3.4 a v tabuľke 13.11 návrhové hodnoty síl a únosnosti podľa 13.2.

Tabuľka 13.12 Variant A osová únosnosť vrutov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery vrutu

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	10,00	[mm]
l	140,00	[mm]
l_{ef}	84,00	[mm]
n_k	56,00	[ks]
n_{ef}	37,44	[ks]
$f_{y,k}$	640,00	[MPa]
$f_{u,k}$	800,00	[MPa]
γ_M	1,25	[-]
k_{mod}	0,70	[-]
ρ_k	410,00	[kg/m ³]

Tabuľka 13.13 Variant A osová únosnosť vrutov - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
a_1	70,00	[mm]
a_2	50,00	[mm]
$a_{4,c}$	30,00	[mm]

Tabuľka 13.14 Variant A osová únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{ax,k}$	13,00	[MPa]
$f_{tens,k}$	23,60	[kN]
k_d	1,00	[-]
$F_{ax,k,Rd,1}$	6,11	[kN]
$F_{ax,Ed}$	199,34	[kN]
$F_{ax,Rd}$	228,90	[kN]
$F_{t,Rd}$	494,80	[kN]

Posúdenie osovej únosnosti spoja na vytiahnutie

$$F_{ax,Rd} \geq F_{ax,Ed}$$

$$228,90 \text{ kN} > 199,34 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 87,09 %

Posúdenie na ťahovú únosnosť spoja

$$F_{t,Rd} \geq F_{ax,Ed}$$

$$494,84 \text{ kN} > 193,16 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 39,03 %

13.5.5 Posúdenie kombinácie osovo a priečne namáhaného vrutu

Posúdenie kombinácie osovo a priečne namáhaného vrutu musí spĺňať ().

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$0,89 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 88,73 %

13.5.6 Posúdenie priečnej únosnosti svorníkového spoja

V tabuľke 13.15 sú uvedené hodnoty pevnosti a rozmery svorníka a vlastnosti dreva podľa 10.2, v tabuľke 13.16 hodnoty roztečov svorníka podľa 13.2.5 a v tabuľke 13.17 návrhové hodnoty síl a únosnosti podľa 13.2.

Tabuľka 13.15 Variant A priečna únosnosť svorníkov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery svorníka

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	14,00	[mm]
n_k	16,00	[ks]
n_r	4,00	[-]
n_{st}	2,00	[-]
n_{ef}	2,84	[ks]
$f_{y,k}$	400,00	[MPa]
$f_{u,k}$	500,00	[MPa]
γ_M	1,25	[-]
k_{mod}	0,70	[-]
ρ_k	410,00	[kg/m ³]

Tabuľka 13.16 Variant A priečna únosnosť svorníkov - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
a_1	80,00	[mm]
a_2	58,00	[mm]
$a_{4,c}$	43,00	[mm]

Tabuľka 13.17 Variant A priečna únosnosť svorníkov – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$M_{y,Rk}$	143227,00	[N/mm]
$f_{h,0,k}$	28,91	[MPa]
$F_{v,Rd,1}$	9,81	[kN]
$F_{v,Ed}$	193,16	[kN]
$F_{v,Rd}$	222,45	[kN]

Posúdenie únosnosti spoja musí spĺňať (13.8)

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$222,45 \text{ kN} > 193,16 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 86,83 %

13.5.7 Posúdenie čapu

V tabuľke 13.18 sú navrhnuté rozmery a únosnosť čapového spoja podľa [12], vysvetlivky sa nachádzajú na obrázku 13.5.

Tabuľka 13.18 čapový spoj

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{ed}	227,61	[kN]
N_{rd}	252,30	[kN]
r	43,00	[mm]
b	25,00	[mm]
j	29,50	[mm]
d_s	30,00	[mm]
o_m	42,50	[mm]
o_j	12,50	[mm]
M	64,00	[mm]

Navrhnutý čap vyhovuje podľa [12]. Priebeh vypočítaného napätia je uvedený v prílohe PVII.

Na základe tejto prílohy je návrh čapového spoja s hrúbkou dosky 25 mm bezpečný.

13.6 Variant B

Druhý navrhnutý variant je totožný s variantom A, kapitola 13.5. Rozdiel je v návrhu čelnej ocelej dosky a dĺžkov vrutu. Táto doska je tvorená tenkou, podľa 13.1, oceľovou čelnou doskou hrúbky 8 mm, ktorá je ukotvená pomocou 56 ks 10 x 160 mm vrutov so šesťhranou hlavou do dreveného stĺpa. Variant B spoja je priložený vo výkresovej časti.

Tento spoj bolo potrebné posúdiť na únosnosť čelnej ocelej dosky 13.6.1, pripojovanej dosky 13.5.2, priečnej únosnosti svorníkov 13.5.6, únosnosť vrutov 13.6.2 a 13.6.3 a čapu 13.5.7. Rozhodujúca kombinácia NC394.

Obsah kombinácie:

$$NC394 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

13.6.1 Posúdenie čelnej ocelej dosky.

V tabuľke 13.19 sú uvedené hodnoty materialových a prierezových veličín, v tabuľke 13.20 hodnoty roztečov podľa 13.3.4 a v tabuľke 13.21 návrhové hodnoty síl a únosností.

Tabuľka 13.19 Variant B čelná oceľová doska – materialové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	8,00	[mm]
d	10,00	[mm]
d_0	11,00	[mm]
d_m	17,00	[mm]
n_v	56,00	[ks]
γ_{M2}	1,25	[-]
A_{nt}	236,00	[mm ²]
A_{nv}	5860,00	[mm ²]

Tabuľka 13.20 Variant B čelná oceľová doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	30,00	[mm]
e_2	30,00	[mm]
p_1	70,00	[mm]

Tabuľka 13.21 Variant B čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
V_{Ed}	106,52	[kN]
$F_{t,Ed,1}$	3,71	[kN]
$F_{v,Ed,1}$	2,05	[kN]
k_1	2,50	[-]
α_b	0,91	[-]
$F_{b,Rd}$	74,18	[kN]
$B_{p,Rd}$	116,90	[kN]
$V_{eff,Rd}$	1249,21	[kN]

Posúdenie na únosnosť odtlačení dosky musí spĺňať vzťah (13.11)

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed,1}$$

$$74,18 \text{ kN} \geq 2,05 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 2,76 %

Posúdenie na pretlačenie hlavy alebo matice šróbu musí spĺňať (13.16).

$$B_{p,Rd} \geq F_{t,Ed,1}$$

$$116,90 \text{ kN} \geq 3,71 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 3,17 %

Posúdenie na porušenie blokovým šmykom musí spĺňať (13.14).

$$V_{eff,Rd} \geq V_{Ed}$$

$$1249,21 \text{ kN} \geq 106,52 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 8,53 %

13.6.2 Posúdenie priečnej únosnosti vrutov.

V tabuľke 13.22 sú uvedené hodnoty pevnosti a rozmery vrutu a vlastnosti dreva podľa 10.2, v tabuľke 13.23 hodnoty roztečov vrutu podľa 13.3.4 a v tabuľke 13.24 návrhové hodnoty síl a únosnosti podľa 13.2.

Tabuľka 13.22 Variant B priečna únosnosť vrutov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery vrutu

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	10,00	[mm]
l	160,00	[mm]
l_{ef}	96,00	[mm]
n_k	56,00	[ks]
n_r	4,00	[-]
n_{st}	1,00	[-]
n_{ef}	9,21	[ks]
$f_{y,k}$	640,00	[MPa]
$f_{u,k}$	800,00	[MPa]
γ_M	1,25	[-]
k_{mod}	0,70	[-]
ρ_k	410,00	[kg/m ³]

Tabuľka 13.23 Variant B priečna únosnosť vrutov - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
a_1	70,00	[mm]
a_2	50,00	[mm]
$a_{4,c}$	30,00	[mm]

Tabuľka 13.24 Variant B priečna únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$M_{y,Rk}$	95545,00	[N/mm]
$f_{h,0,k}$	30,00	[MPa]
$F_{v,Rd,1}$	5,19	[kN]
$F_{v,Ed}$	109,87	[kN]
$F_{v,Rd}$	191,08	[kN]

Posúdenie únosnosti spoja musí spĺňať (13.8)

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$191,08 \text{ kN} > 109,87 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 57,50 %

13.6.3 Posúdenie osovej únosnosti vrutového spoja

V tabuľke 13.25 sú uvedené hodnoty pevnosti a rozmery vrutu a vlastnosti dreva podľa 10.2, v tabuľke 13.26 hodnoty roztečov vrutu podľa 13.3.4 a v tabuľke 13.27 návrhové hodnoty síl a únosnosti podľa 13.2.

Tabuľka 13.25 Variant B osová únosnosť vrutov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery vrutu

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	10,00	[mm]
l	160,00	[mm]
l_{ef}	96,00	[mm]
n_k	56,00	[ks]
n_{ef}	37,44	[ks]
$f_{y,k}$	640,00	[MPa]
$f_{u,k}$	800,00	[MPa]
γ_M	1,25	[-]
k_{mod}	0,70	[-]
ρ_k	410,00	[kg/m ³]

Tabuľka 13.26 Variant B osová únosnosť vrutov - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
a_1	70,00	[mm]
a_2	50,00	[mm]
$a_{4,c}$	30,00	[mm]

Tabuľka 13.27 Variant B osová únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{ax,k}$	12,82	[MPa]
$f_{tens,k}$	23,60	[kN]
k_d	1,00	[-]
$F_{ax,k,Rd}$	6,89	[kN]
$F_{t,Rk}$	883,58	[kN]
$F_{ax,Ed}$	199,34	[kN]
$F_{ax,Rd}$	258,13	[kN]
$F_{t,Rd}$	494,80	[kN]

Posúdenie osovej únosnosti spoja na vytiahnutie

$$F_{ax,Rd} \geq F_{ax,Ed}$$

$$258,13 \text{ kN} > 199,34 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Využitie } 77,23 \%$$

Posúdenie na ťahovú únosnosť spoja

$$F_{t,Rd} \geq F_{ax,Ed}$$

$$494,80 \text{ kN} > 199,34 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Využitie } 40,29 \%$$

13.6.4 Posúdenie kombinácie osovo a priečne namáhaného vrutu

Posúdenie kombinácie osovo a priečne namáhaného vrutu musí spĺňať ().

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

$$0,93 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Využitie } 92,70 \%$$

13.7 Zhrnutie výsledkov variant

V tabuľke 13.28 je zhrnutá hlavná charakteristika riešeného spoja pre Variant A, v tabuľke 13.29 pre Variant B a v tabuľke 13.30 porovnanie výsledkov variant.

Tabuľka 13.28 Variant A – hlavná charakteristika spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	10,00	[mm]
l	140,00	[mm]
l_{ef}	84,00	[mm]
n_k	56,00	[ks]
a_1	70,00	[mm]
a_2	50,00	[mm]
t_p	15,00	[mm]
$F_{v,Rd,1}$	8,31	[kN]
$F_{ax,k,Rd,1}$	6,11	[kN]

Tabuľka 13.29 Variant B – hlavná charakteristika spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	10,00	[mm]
l	160,00	[mm]
l_{ef}	96,00	[mm]
n_k	56,00	[ks]
a_1	70,00	[mm]
a_2	50,00	[mm]
t_p	8,00	[mm]
$F_{v,Rd,1}$	5,19	[kN]
$F_{ax,k,Rd,1}$	6,89	[kN]

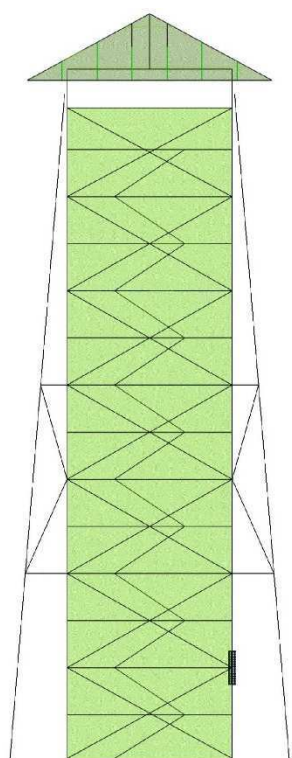
Tabuľka 13.30 Porovnanie únosnosti vrutov Variant

Variant	Veličina	Hodnota [kN]	Rozdiel [%]
A	$F_{v,Rd,1}$	8,31	37,55
B	$F_{v,Rd,1}$	5,19	
A	$F_{ax,k,Rd,1}$	6,11	11,32
B	$F_{ax,k,Rd,1}$	6,89	

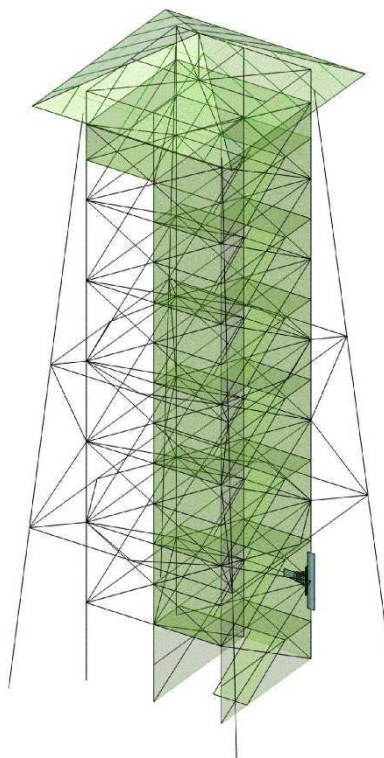
Rozdiel v priečnej únosnosti vrutov je ovplyvnený predovšetkým hrúbkou ocelej dosky a účinkom zopnutia $F_{ax,k,Rk}$, ktorý je závislý v tomto prípade na dĺžke vrutu.

13.8 Výpočetný model v software Scia Engineer 16.1

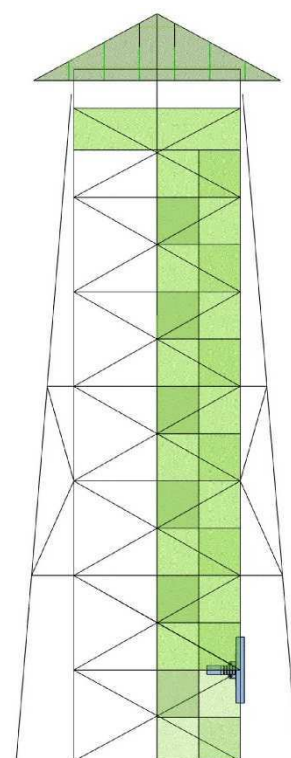
Oba navrhnuté varianty, variant A 13.5 a variant B 13.6, boli vymodelované ako škrupinový model v software Scia Engineer 16.1. Pre zadanie správnych okrajových podmienok bol škrupinový model vložený do prúťového modelu celej konštrukcie vid' obrázok 13.6 až 13.9. Tento model bol spočítaný s uvažovaním fyzikálnej, konštrukčnej a geometrickej nelinearity prírastkovou výpočetnou metódou Newton-Raphson. Spočítaná bola kombinácia NC394, ktorá vyvolala v spoji najväčšie sily vid' obrázok 13.2. Tuhosti v týchto modeloch boli zadávané na jednotlivé spojovacie prostriedky (vruty, svorníky), ktoré boli spočítané podľa kapitoly 8.



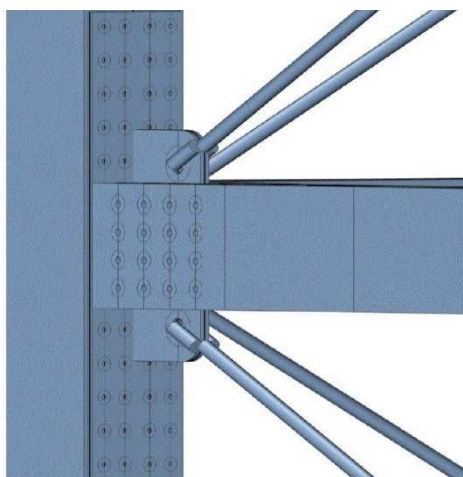
Obrázok 13.6 Pohľad x,



Obrázok 13.7 Axonometrický pohľad



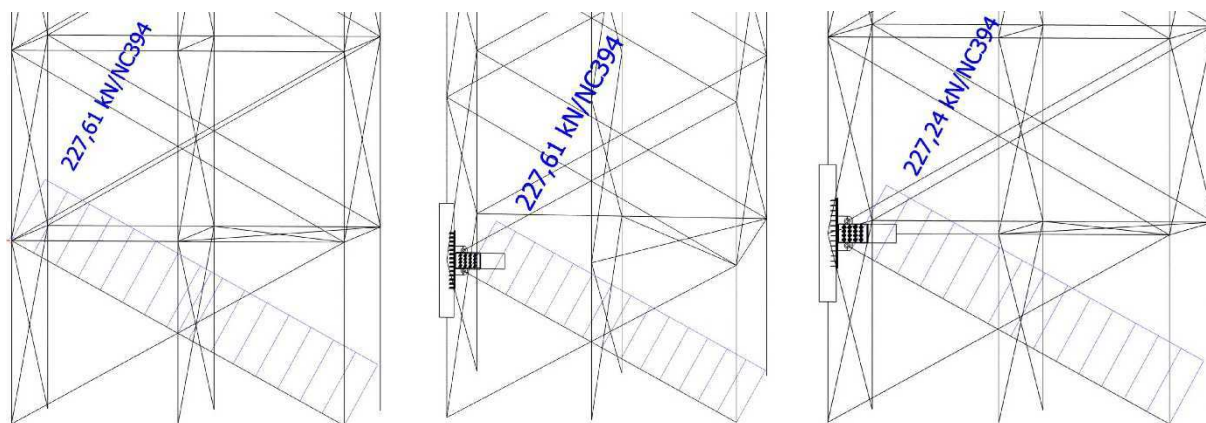
Obrázok 13.8 Pohľad y,z



Obrázok 13.9 Detail T spoja

13.8.1 Výsledky výpočetných modelov

Spoj bol navrhovaný na silu v prípoji vid' obrázok 13.2, ktorú v ňom vyvolala ťahová sila prenesená stužidlom. Na obrázkoch 13.10 až 13.12 je zobrazená sila v stužidle pre jednotlivé modely. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 13.31.



Obrázok 13.10 Prúťový model Obrázok 13.11 Škrupinový model Obrázok 13.12 Škrupinový model
Variant A Variant B

Tabuľka 13.31 Porovnanie síl v tiahle

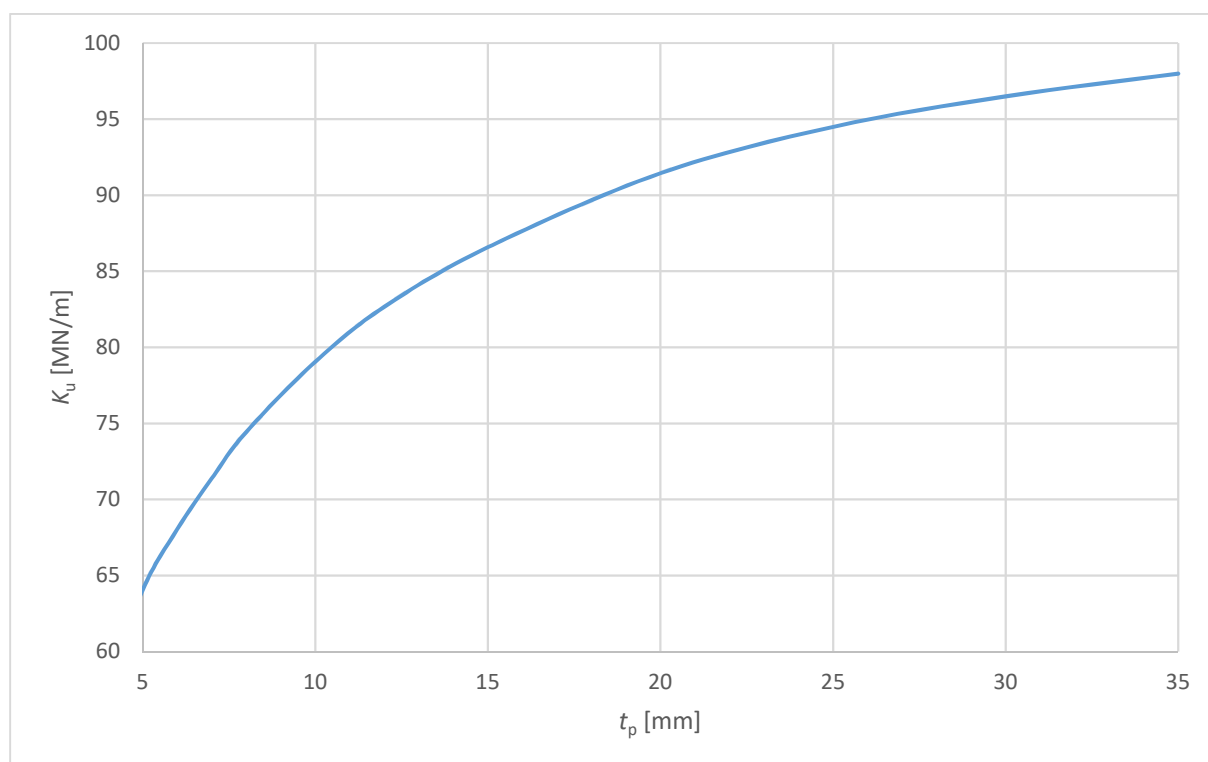
Model	$N_{\text{stužidlo}}$ [kN]	Rozdiel [%]
Prúťový	227,61	Základ
Škrupinový variant A	227,61	0,00
Škrupinový variant B	227,24	0,16

Podľa hodnôt z vyššie uvedenej tabuľky môžeme skonštatovať dostatočnú presnosť výpočtu škrupinových modelov. Ako bolo spomenuté v kapitole 8 ťahová sila v stužidle, a teda aj prerozdelenie síl medzi zvyšné prvky, závisí na tuhosti spoja. Podľa vypočítaných síl v stužidle môžeme zistiť tuhosť spojov jednotlivých modelov podľa kapitoly 8. Výsledky týchto tuhostí pre jednotlivé modely boli zhrnuté do tabuľky 13.32.

Tabuľka 13.32 Tuhosti spojov v jednotlivých modeloch

Model	K_u [MN/m]	Rozdiel [%]
Prúťový	90,04	Základ
Škrupinový variant A	90,04	0,00
Škrupinový variant B	74,44	17,35

Významný vplyv na tuhosť spoja má čelná doska, ktorej tuhosť nebola započítaná pri prúťovom modeli. Výpočtom bolo dokázané, ako sa uvádza v [8], že spoj s hrubou čelnou doskou (variant A) má vyššiu tuhosť. Pre závislosť hrúbky čelnej dosky a tuhosti spoja bol vytvorený graf 13.1.



Graf 13.1 Závislosť medzi hrúbkou čelnej dosky a tuhosťou spoja

Graf znázorňuje závislosť medzi hrúbkou čelnej dosky a tuhosťou spoja. Čím hrubšiu dosku zvolíme tým bude spoj viac tuhý.

13.9 Porovnanie výsledkov

Táto kapitola sa zaoberala porovnaním síl pripadajúcich na jeden spojovací prostriedok vypočítaných ručným výpočtom a výsledkami zo škrupinových modelov variantu A a B. Hodnoty síl ručného výpočtu vychádzajú z teórie pružného rozdelenia síl. To znamená, že sila na jeden vrut, šmyková či osová, sa vypočíta podelením celkovej zložky sily pôsobiacej na spoj počtom spojovacích prostriedkov. V tabuľke 13.33 až 13.35 je prevedené porovnanie výsledkov.

Tabuľka 13.33 Porovnanie šmykovej sily pripadajúcej na jeden vrut

Variant	Ručný výpočet [kN]	Scia Engineer [kN]	Rozdiel [%]
A	1,96	2,03	3,45
B	1,96	2,04	3,92

Tabuľka 13.34 Porovnanie osovej sily pripadajúcej na jeden vrut

Variant	Ručný výpočet [kN]	Scia Engineer [kN]	Rozdiel [%]
A	3,56	1,79	50,28
B	3,56	2,28	35,96

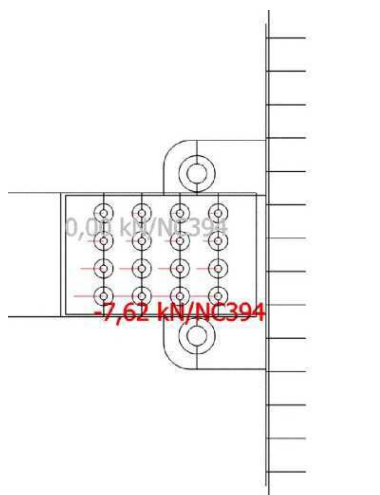
Tabuľka 13.35 Porovnanie šmykovej sily pripadajúcej na jeden svorník

Variant	Ručný výpočet [kN]	Scia Engineer [kN]	Rozdiel [%]
A	6,87	7,59	9,49
B	6,87	7,71	10,89

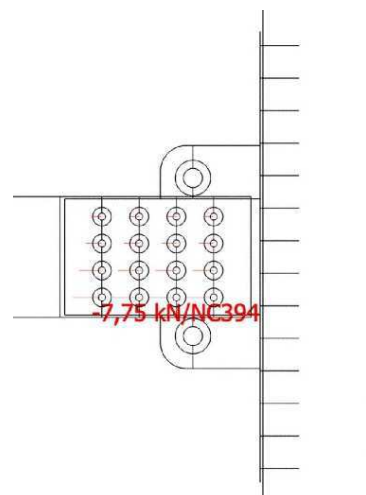
Ako je uvedené v tabuľke 13.35 hodnoty ručného výpočtu šmykovej sily sú približne rovnaké so škrupinovým modelom, líšia sa maximálne o 3,92 %. Sily vo všetkých vrutoch sú zhodné po výške spoja vid' obrázok 13.16 a 13.17. Osová sila vypočítaná v škrupinovom modeli sa podstatne líši od ručného výpočtu a sily sa po výške spoja menia vid' obrázok 13.14, 13.15, 13.18 a 13.19. Na týchto obrázkoch je vidieť, že neplatí teória pružného rozdelenia síl a viac namáhané vruty a svorníky sú v okolí čapového spoja. Tento jav nastáva vplyvom deformácie čelnej dosky, obrázok 13.13.



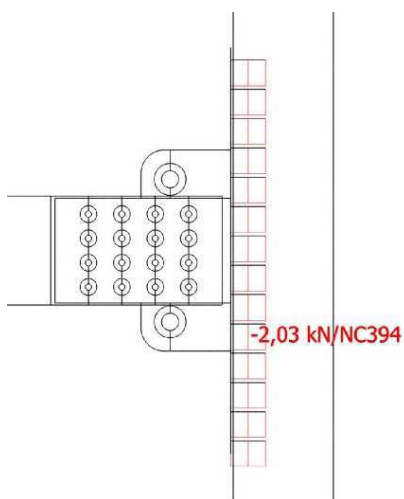
Obrázok 13.13 Deformácia čelnej dosky



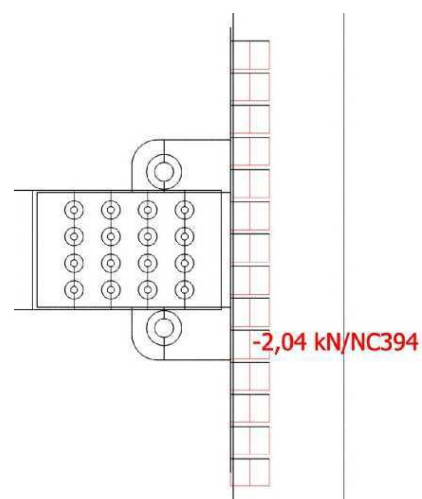
Obrázok 13.14 Variant A – svorník V_y



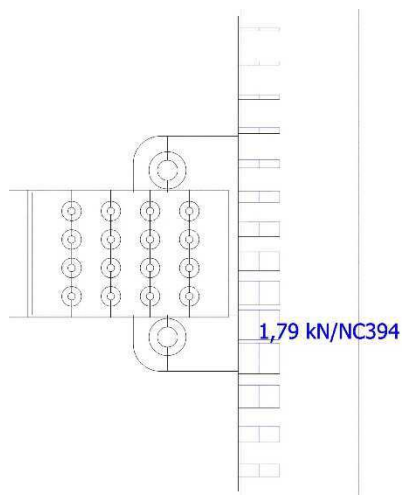
Obrázok 13.15 Variant B – svorník V_y



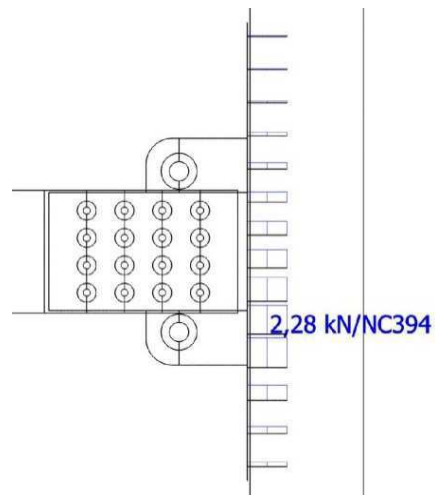
Obrázok 13.16 Variant A – vrut V_z



Obrázok 13.17 Variant B – vrut V_z



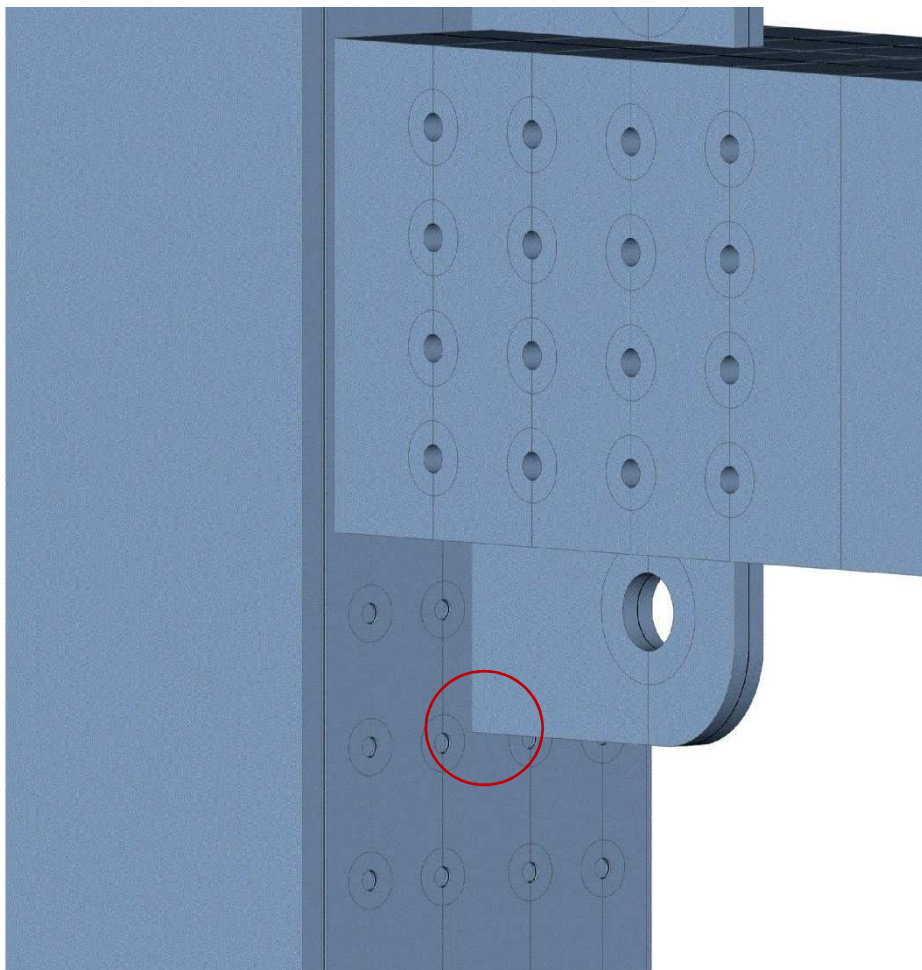
Obrázok 13.18 Variant A – vrut N



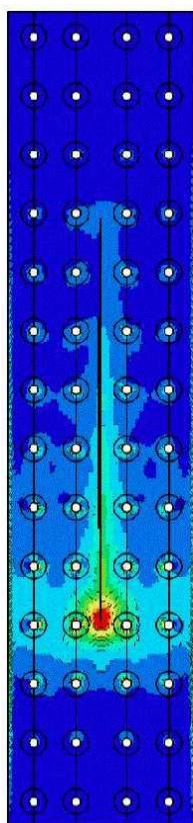
Obrázok 13.19 Variant B – vrut N

13.10 Analýza hrúbky čelnej ocelovej dosky variant A a B

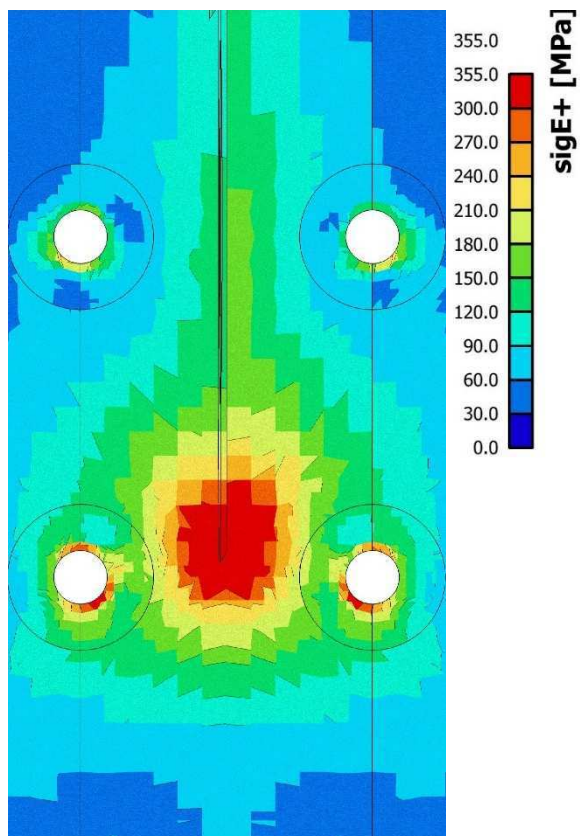
Hrúbka čelnej dosky nemôže byť príliš nízka z dôvodu napätia, ktoré v nej vzniká od pripojovanej dosky, obrázok 13.20. Preto bolo nevyhnutné túto hrúbku stanoviť. Pomocou software Scia Engineer 16.1 bolo spočítaných 6 variant hrúbky čelnej dosky s uvažovaním geometrickej, fyzikálnej a konštrukčnej nelinearity prírastkovou výpočtovou metódou Newton-Raphson. V každom variante bolo sledované napätie von Mises v mieste styku pripojovanej dosky, obrázok 13.20. Keďže doska je tvorená oceľou S355J0 napätie nesmie presiahnuť hodnotu 355 MPa, v opačnom prípade by došlo k jej plastickej deformácii, poškodeniu a strate únosnosti spoja. Na obrázkoch 13.21 až 13.24 sú zobrazené napätia pre dosku hrúbky 8 a 15 mm.



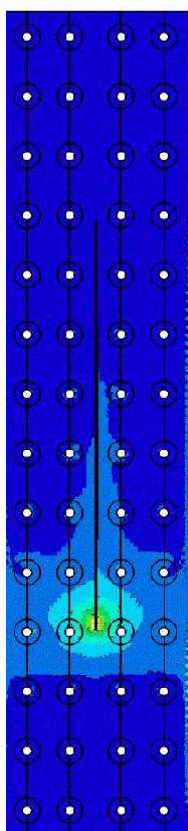
Obrázok 13.20 Detail posudzovaného miesta



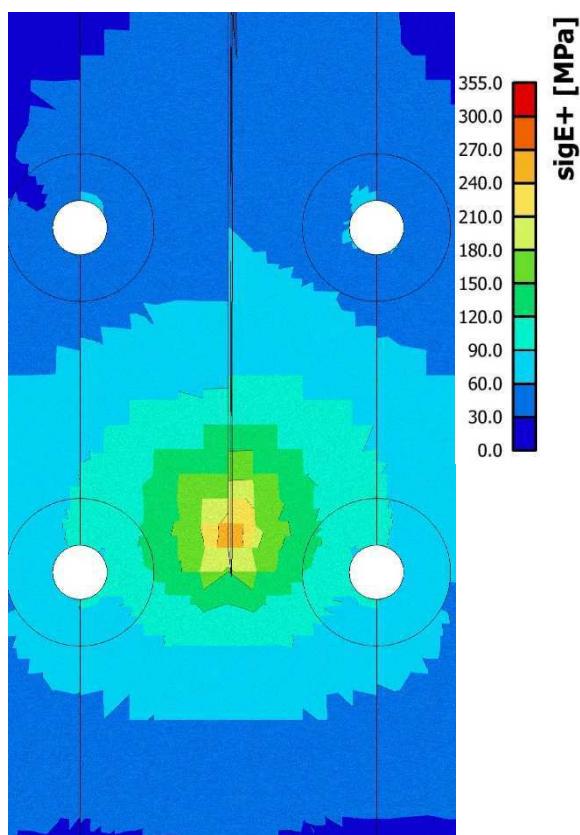
Obrázok 13.21 Doska 8 mm



Obrázok 13.22 Detail doska 8 mm



Obrázok 13.23 Doska 15 mm



Obrázok 13.24 Detail doska 15 mm

13.11 Výber variantu

Na základe výsledkov z kapitoly 13.10 bol vybratý spoj variant A z viacerých dôvodov.

- zvolením dosky hrúbky 15 mm: nedosiahne napätie v kritickom mieste medzi klzami, čím sa zabezpečí jeho dlhšia životnosť a zamedzíme tým prípadnému zlyhaniu spoja, kapitola 13.10
- zvolením dosky hrúbky 15 mm: dosiahneme väčšiu únosnosť priečne namáhaných vrutov a tým sa zmenší ich dĺžka alebo počet, kapitola 13.7
- zvolením dosky hrúbky 15 mm: dosiahneme väčšiu tuhosť spoja, čo bude mať za následok zvýšenie tuhosti celej konštrukcie a zvýšenie ťahovej sily v stĺžke ale zmenšenie tlakových a ťahových síl v šikmých stĺpoch, kapitola 13.8.1

14. Záver

Bakalárska práca sa zaoberala statickým riešením drevenej rozhládne Bukovka, ktorá sa nachádza v Českej republike v obci Rapotín. Použitým materiálom bolo lepené lamelové drevo triedy GL28h a oceľ triedy S355J0. Pre konštrukciu boli prevedené návrhy a posudky hlavných nosných prvkov a detailná analýza vybraného spoja, ktorej cieľom bolo stanoviť optimálny počet spojovacích prostriedkov a hrúbku oceľovej dosky.

V software Scia Engineer 16.1 bolo vytvorených viacero výpočetných modelov konštrukcie. Pre globálny model konštrukcie boli vypočítané hodnoty posunutia pre medzný stav únosnosti K_u a pre medzný stav použiteľnosti K_{ser} .

Prvý model slúžil pre výpočet modalnej analýzy, ktorej cieľom bolo určiť hodnotu vlastnej frekvencie. Pomocou ktorej bol spočítaný súčiniteľ konštrukcie c_{sCd} . Tento súčiniteľ dosiahol hodnotu menšiu ako 1,0 pre všetkých päť smerov vetra. V druhom prípade slúžil pre analýzu stability konštrukcie, ktorej výsledkom je násobiteľ zaťaženia α_{cr} , ktorým by museli byť zväčšené zaťaženia aby spôsobili stratu stability v pružnom stave s globálnym vlastným tvarom. Výpočtom bol zistený násobiteľ zaťaženia α_{cr} pre päť kombinácií zaťažení. Násobiteľ zaťaženia α_{cr} bol pre všetky kombinácie väčší ako 10. Pre posledný účel tento model slúžil pre výpočet vnútorných síl, na ktoré boli následne navrhnuté a posúdene prvky a spoje.

Druhý model bol vytvorený pre medzný stav použiteľnosti, pomocou ktorého bola spočítaná celková deformácia rozhládne a priehyby jednotlivých prvkov.

Tretí a štvrtý model bol vytvorený modifikáciou prútového a škrupinového modelu. Tieto modely slúžili pre detailnú analýzu navrhnutých dvoch variant spoja. Na základe týchto modelov bol vybratý variant spoja A.

15. Zoznam použitých zdrojov

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ÚNMZ, březen 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1 Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ÚNMZ, březen 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3 Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha: ÚNMZ, červen 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4 Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: ÚNMZ, duben 2007.
- [5] ČSN ISO 12494. *Zatížení konstrukcí námrazou*. Praha: ÚNMZ, duben 2010.
- [6] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, prosinec 2006.
- [7] ČSN EN 1993-1-8. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8 Navrhování styčníků. Praha: ÚNMZ, prosinec 2006.
- [8] ČSN EN 1995-1-1. Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1 Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, prosinec 2006.
- [9] *Rozhledna Bukovka* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z <http://www.kkcrapotin.cz/rozhledna-bukovka>
- [10] *Rozhledna Bukovka* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.rozhlednovymrajem.cz/bukovka/>
- [11] Salajka V. *Dynamika stavebních konstrukcí – přednášky pro kurz Dynamika*. Brno: VUT FAST, 2009.
- [12] *DETAN* [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: http://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/tensionrodsystem/DT_16.1.pdf
- [13] *Duplex, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.duplexarchitekti.cz/>
- [14] *EXTEN CZ, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://exten.cz/>
- [15] *Azby DK s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://azby.cz/>
- [16] *ÚTAM AV ČR, v. v. i.* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.itam.cas.cz/>

Použité výpočetné a grafické programy

Scia Engineer 16.1 (študentská licencia)

AutoCAD Architecture 2016 (študentská licencia)

Microsoft Office 2016 (študentská licencia)

16. Zoznam použitých obrázkov, tabuliek a grafov

Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 2.1 Rozhľadňa Bukovka

Obrázok 2.2 Situovanie stavby

Obrázok 2.3 Výhľad z rozhľadne Bukovka

Obrázok 2.4 Drevené stuženie

Obrázok 2.5 Výstužné kríže

Obrázok 2.6 Kotviaci plech

Obrázok 2.7 Základová doska

Obrázok 2.8 Schodisko rozhľadne

Obrázok 2.9 Strešná konštrukcia

Obrázok 2.10 Použité drevené profily

Obrázok 2.11 Pohľad x,z

Obrázok 2.12 Axonometrický pohľad

Obrázok 2.13 Pohľad y,z

Obrázok 3.1 Zaťažovacie stavy snehom

Obrázok 3.2 Model námrazy pre malé prvky

Obrázok 3.3 Model námrazy pre veľké prvky

Obrázok 4.1 Rozdelenie konštrukcie na vodorovné pásy podľa [4]

Obrázok 4.2 Skutočné rozdelenie konštrukcie

Obrázok 4.3 Súčiniteľ expozície $c_e(z)$ pre $c_0 = 1,0$ a $k_I = 1,0$

Obrázok 4.4 Ilustračný terén

Obrázok 4.5 Skutočný okolitý terén

Obrázok 4.6 Ilustračný profil topografie

Obrázok 4.7 Skutočný profil topografie

Obrázok 4.8 Smer vetra

Obrázok 4.11 Rozdelenie oblasti strechy

Obrázok 5.1 Pohľad x,z

Obrázok 5.2 Axonometrický pohľad

Obrázok 5.3 Pohľad y,z

Obrázok 9.1 Pohľad x,z

Obrázok 9.2 Axonometrický pohľad

Obrázok 9.3 Pohľad y,z

Obrázok 13.1 Hlavný nosný spoj

Obrázok 13.2 Hodnoty síl v zadanom prípoji

Obrázok 13.3 Spôsoby porušenia pre spoje oceľ - drevo

Obrázok 13.4 Rozteče a vzdialenosti od koncov a okrajov (a) rozteče rovnobežne s vláknami v rade a kolmo ku vláknam medzi radami (b) vzdialenosti od okrajov a koncov

Obrázok 16.1 Rozmery čapového spoja podľa [12]

Obrázok 13.6 Pohľad x,z

Obrázok 13.7 Axonometrický pohľad

Obrázok 13.8 Pohľad y,z

Obrázok 13.9 3D detail škrupinového modelu spoja (nezobrazené všetky prvky)

Obrázok 13.10 Prútový model

Obrázok 13.11 Škrupinový model variant A

Obrázok 13.12 Škrupinový model variant B

Obrázok 13.13 Deformácia čelnej dosky

Obrázok 13.14 Variant A – svorník V_y

Obrázok 13.15 Variant B – svorník V_y

Obrázok 13.16 Variant A - vrut V_z

Obrázok 13.17 Variant B – vrut V_z

Obrázok 13.18 Variant A – vrut N

Obrázok 13.19 Variant B – vrut N

Obrázok 13.20 Detail posudzovaného miesta

Obrázok 13.21 Doska 8 mm

Obrázok 13.22 Detail dosky 8 mm

Obrázok 13.23 Doska 15 mm

Obrázok 13.24 Detail doska 15 mm

Zoznam použitých tabuliek

Tabuľka 3.1	Ostatné stále zaťaženie
Tabuľka 3.2	Stále zaťaženie strechy
Tabuľka 3.3	Úžitné zaťaženie
Tabuľka 3.4	Tvarový súčiniteľ
Tabuľka 3.5	Hodnoty zaťaženia snehom
Tabuľka 4.1	Výsledky vplyvu orografie
Tabuľka 4.2	Výsledky maximálneho dynamického tlaku
Tabuľka 4.3	Výsledky výpočtu súčiniteľa $c_s c_d$
Tabuľka 4.4	Hodnoty súčiniteľa c_f
Tabuľka 4.5	Výpočet výslednice sily
Tabuľka 4.6	Hodnoty súčiniteľov pre oblasti
Tabuľka 4.7	Výpočet zaťaženia vetrom na streche
Tabuľka 6.1	Zaťažovacie stavy
Tabuľka 6.2	Vzťah zaťažovacích stavov
Tabuľka 7.1	Nelineárny výpočet s posunutiami
Tabuľka 8.1	Hlavný nosný spoj
Tabuľka 9.1	Výsledky stability
Tabuľka 11.1	Stĺp – prierezové charakteristiky
Tabuľka 11.2	Stĺp – vzperné charakteristiky
Tabuľka 11.3	Stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC449
Tabuľka 11.4	Stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC446
Tabuľka 11.5	Stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC423
Tabuľka 11.6	Stĺp – šmyk
Tabuľka 11.7	Stĺp – ťah rovnobežne s vláknami
Tabuľka 11.8	Šikmý stĺp – prierezové charakteristiky
Tabuľka 11.9	Šikmý stĺp – vzperné charakteristiky
Tabuľka 11.10	Šikmý stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC457
Tabuľka 11.11	Šikmý stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC456
Tabuľka 11.12	Šikmý stĺp – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC440
Tabuľka 11.13	Šikmý stĺp – šmyk
Tabuľka 11.14	Šikmý stĺp – posúdenie ťahu rovnobežne s vláknami
Tabuľka 11.15	Lem poschodia – prierezové charakteristiky

Tabuľka 11.16 Lem poschodia – vzperné charakteristiky

Tabuľka 11.17 Lem poschodia - vzperný tlak s dvojosým ohybom NC483

Tabuľka 11.18 Lem poschodia – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC423

Tabuľka 11.19 Lem poschodia – vzperný tlak s dvojosým ohybom NC446

Tabuľka 11.20 Lem poschodia – šmyk

Tabuľka 11.21 Plošinový nosník – prierezové charakteristiky

Tabuľka 11.22 Plošinový nosník – osový ťah a dvojosý ohyb

Tabuľka 11.23 Plošinový nosník – posúdenie na šmyk

Tabuľka 11.24 Podestový nosník – prierezové charakteristiky

Tabuľka 11.25 Podestový nosník – posúdenie osového tlaku a dvojosého ohybu

Tabuľka 11.26 Podestový nosník – posúdenie na šmyk

Tabuľka 11.27 Oceľové stužidlo – prierezové charakteristiky

Tabuľka 11.28 Posúdenie oceľového stužidla

Tabuľka 12.1 Plošinový nosník – posúdenie MSP

Tabuľka 12.2 Podestový nosník – posúdenie MSP

Tabuľka 13.1 Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností

Tabuľka 13.2 Hodnoty minimálnych roztečí a vzdialeností od čela a okrajov pre osovo zaťažené vruty

Tabuľka 13.3 Variant A čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Tabuľka 13.4 Variant A čelná doska - rozteče

Tabuľka 13.5 Variant A čelná doska - návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 13.6 Variant A pripojovaná doska – materiálové a prierezové veličiny

Tabuľka 13.7 Variant A pripojovaná doska - rozteče

Tabuľka 13.8 Variant A pripojovaná doska – návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 13.9 Variant A priečna únosnosť vrutov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery vrutu

Tabuľka 13.10 Variant A priečna únosnosť vrutov - rozteče

Tabuľka 13.11 Variant A priečna únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 13.12 Variant A osová únosnosť vrutov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery vrutu

Tabuľka 13.13 Variant A osová únosnosť vrutov - rozteče

Tabuľka 13.14 Variant A osová únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 13.15 Variant A priečna únosnosť svorníkov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery svorníka

Tabuľka 13.16 Variant A priečna únosnosť svorníkov - rozteče

Tabuľka 13.17 Variant A priečna únosnosť svorníkov – návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 13.18 čapový spoj

Tabuľka 13.19 Variant B čelná oceľová doska – materialové a prierezové veličiny

Tabuľka 13.20 Variant B čelná oceľová doska - rozteče

Tabuľka 13.21 Variant B čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 13.22 Variant B priečna únosnosť vrutov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery vrutu

Tabuľka 13.23 Variant B priečna únosnosť vrutov - rozteče

Tabuľka 13.24 Variant B priečna únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 13.25 Variant B osová únosnosť vrutov – vlastnosti dreva, pevnosť a rozmery vrutu

Tabuľka 13.26 Variant B osová únosnosť vrutov - rozteče

Tabuľka 13.27 Variant B osová únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 13.28 Variant A – hlavná charakteristika spoja

Tabuľka 13.29 Variant B – hlavná charakteristika spoja

Tabuľka 13.30 Porovnanie únosnosti vrutov Variant

Tabuľka 13.31 Porovnanie síl v tiahle

Tabuľka 13.32 Tuhosti spojov v jednotlivých modelov

Tabuľka 13.33 Porovnanie šmykovej sily pripadajúcej na jeden vrut

Tabuľka 13.34 Porovnanie osovej sily pripadajúcej na jeden vrut

Tabuľka 13.35 Porovnanie šmykovej sily pripadajúcej na jeden svorník

Zoznam použitých grafov

Graf 7.1 Model bez posunutí - ťah

Graf 7.2 Model s posunutiami - ťah

Graf 8.1 Závislosť deformácie na tuhosti

Graf 8.2 Závislosť prerozdelenia vnútorných síl medzi stužidlom a šikmým stĺpom

Graf 13.1 Závislosť medzi hrúbkou čelnej dosky a tuhosťou spoja

17. Prílohy

- PI Názvoslovie prvkov konštrukcie
- PII Meranie aerodynamických síl vo veternom tunely - ÚTAM
- PIII Priebehy vnútorných síl vybraných prvkov
- PIV Tabuľky výsledkov vybraných prvkov
- PV Grafy výsledkov vybraných prvkov
- PVI Priebeh napätia na čelnej doske rôznych hrúbok
- PVII Priebeh napätia na doske čapového spoja

Ostatné

CD nosič

Výkresy

Výkres č. 01	Pôdorys	mierka 1:50
Výkres č. 02	Rez A-A	mierka 1:50
Výkres č. 03	Rez B-B	mierka 1:50
Výkres č. 04	Detail variant A	mierka 1:5